

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Programa Académico de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

**“Cálculo y Distribución de Fuerzas para una Mejor
Eficiencia de un Molino de Caña”**

T E S I S

P R E S E N T A D A

**para optar el Grado de Bachiller en Ciencias
con mención en Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

HUGO DAVILA TRINIDAD

P R O M O C I O N 1 9 7 1

L I M A - P E R U 1 9 7 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

AV. TUPAC AMARU S/N. APARTADO 1301 - TELEFONO 28-3090 - CABLES: UNI LIMA - PERU

DIRECCION DEL PROGRAMA ACADEMICO DE ING. MECANICA Y ELECTRICA

TESIS DE BACHILLER

Para optar el Grado de Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Sr. Hugo Dávila Trinidad

PROMOCION 1961

"CALCULO Y DISTRIBUCION DE FUERZAS PARA UNA MEJOR EFICIENCIA
DE UN MOLINO DE CAÑA"

- 1.- Introducción.
- 2.- Distribución de las fuerzas, cálculo de la resultante y máxima compresión.
- 3.- Relación entre la compresión del bagazo y la presión del molino.
- 4.- Variaciones de la extracción del jugo en función de la presión del molino.
- 5.- Planos.

CONCLUSIONES.



SHOJI OGASAWARA
DIRECTOR a.i.

Lima, 5 de Julio de 1972

avu.

I N D I C E

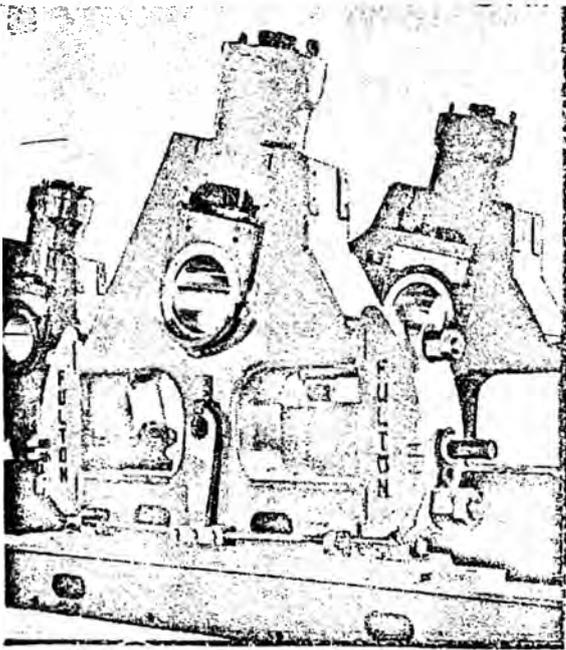
	<u>Pág.</u>	
I	Introducción	1/2
II	Distribución de las fuerzas, cálculo de la resultante y máxima compresión.	3/16
	a - Presión hidráulica en los molinos	
	b - Presión medida en el bagazo	
	c - Distribución de fuerzas	
	d - Cálculo de la resultante y máxima compresión	
III	Relación entre la compresión del bagazo y la presión del molino.	17/40
	a - Definiciones	
	b - Compresión	
	c - Relación entre la presión y la compresión	
	d - Curva de presión en el molino	
	e - Cálculo de la reacción resultante	
	f - Cálculo de la máxima compresión	
IV	Variaciones de la extracción de jugo en función de la presión del molino.	41/42
V	Planos	
VI	Conclusiones	43
	Bibliografía	44

I N T R O D U C C I O N

El potencial de molienda de muchas fábricas de azúcar de caña es considerablemente mayor que su requerimiento actual. Es por eso que un buen conocimiento de los sistemas y rendimientos del equipo existente es de mucha utilidad para la persona que se encarga de la operación del equipo.

Dentro de todo esto los molinos de caña tienen especial importancia ya que de un trabajo eficiente del mismo depende el mejor o menor rendimiento del mismo.

Este estudio se basa en los principales aspectos que se deben tener en cuenta en un molino de caña como son: la presión hidráulica, las fuerzas desarrolladas en el molino y la extracción del mismo en relación a la presión ejercida sobre el colchón de caña. Este último factor bastante importante ya que de ello depende la eficiencia del molino y de la fábrica de azúcar en sí.



II DISTRIBUCION DE LA FUERZA, CALCULO DE LA RESULTANTE Y MAXIMA COMPRESION.

a.- PRESION HIDRAULICA EN LOS MOLINOS

En los molinos primitivos de caña, el uso de tres cilindros fijos con relación a la bancada, era de uso común; de esta manera la presión de molienda la daba el colchón de bagazo que pasaba a través de los cilindros, aumentando o disminuyendo la presión según el aumento o disminución del colchón.

Indudablemente los resultados de este sistema no eran del todo satisfactorios por la falta de una extracción adecuada del jugo y además el inconveniente al paso de cuerpos extraños entre los cilindros, como son pedazos de fierro gruesos que dañaban seriamente al molino.

Por esta razón se buscó presiones más elásticas dando como resultado el empleo de molinos con presiones de resorte, este sistema usado en molinos muy pequeños ha sido superado ampliamente por el uso de la presión hidráulica, sistema que tiene la ventaja de mantener en el cilindro una presión constante e independiente del levantamiento del cilindro superior.

En este tipo de presión, los coginetes superiores del cilindro superior, pueden moverse dentro de los cabezales de la virgen

(se denomina virgen a la estructura que soporta a los cilindros, Fig. 1) reciben a través de una pieza intermedia, la presión de un pistón hidráulico (Fig. 2) que se desplaza libremente dentro del cabezal. La presión hidráulica llega al pistón por una tubería de aceite a presión la que es obtenida de un acumulador.

El acumulador está constituido por un cilindro largo dentro del cual se desplaza un émbolo que recibe el peso de un cierto número de placas de fundición.

Si consideramos "d" como diámetro del émbolo y "f" el peso de las placas; la presión que se ejerce sobre la masa superior del molino será de "p"; siendo "s" la sección del émbolo

$$p = f / s$$

de donde:

$$p = \frac{4f}{\pi d^2} \quad (1)$$

Si los pistones hidráulicos de los molinos tienen cada uno un diámetro "D" la superficie total de aplicación de la presión será dos veces el área de estos pistones ya que éstos son dos, por lo que el cilindro superior recibirá una fuerza total de:

$$F = 2ps' \quad (2)$$

siendo s' el área de los pistones.

reemplazando (1) en (2) y simplificando tendremos:

$$F = 2f \frac{D^2}{d^2} \quad (3)$$

***Inclined
Kingboltless
Housings***

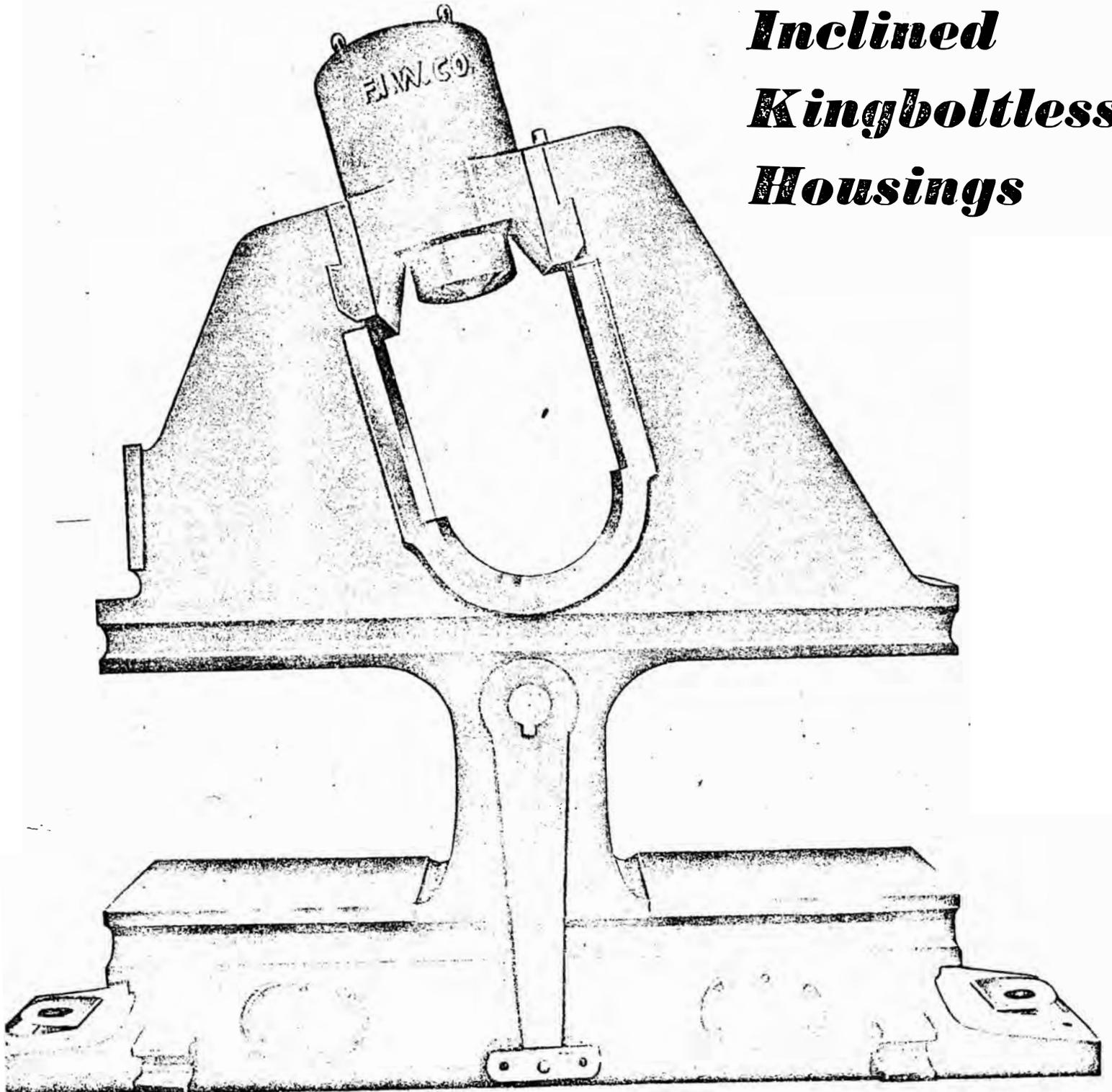
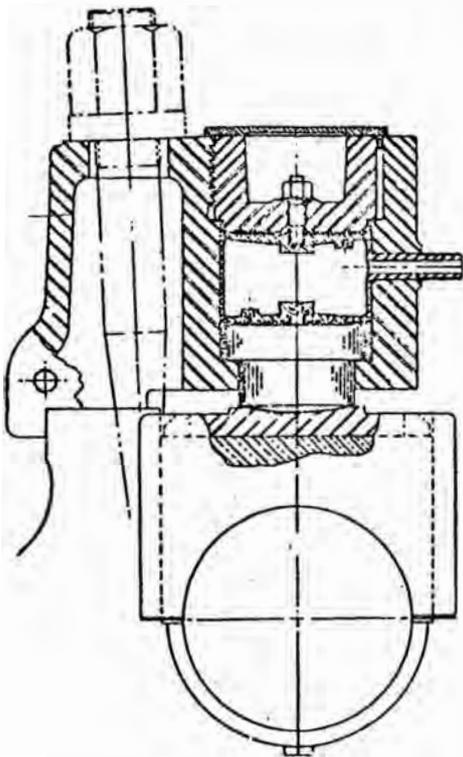


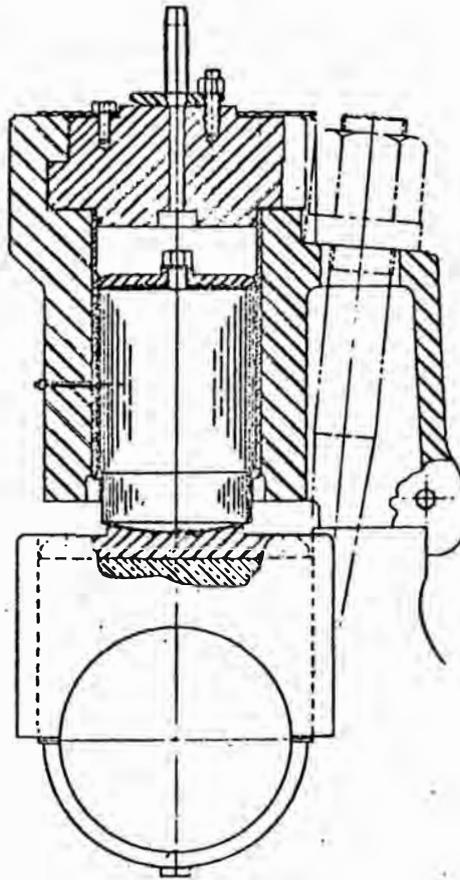
Fig. 1

TAPAS Y PISTONES HIDRÁULICOS

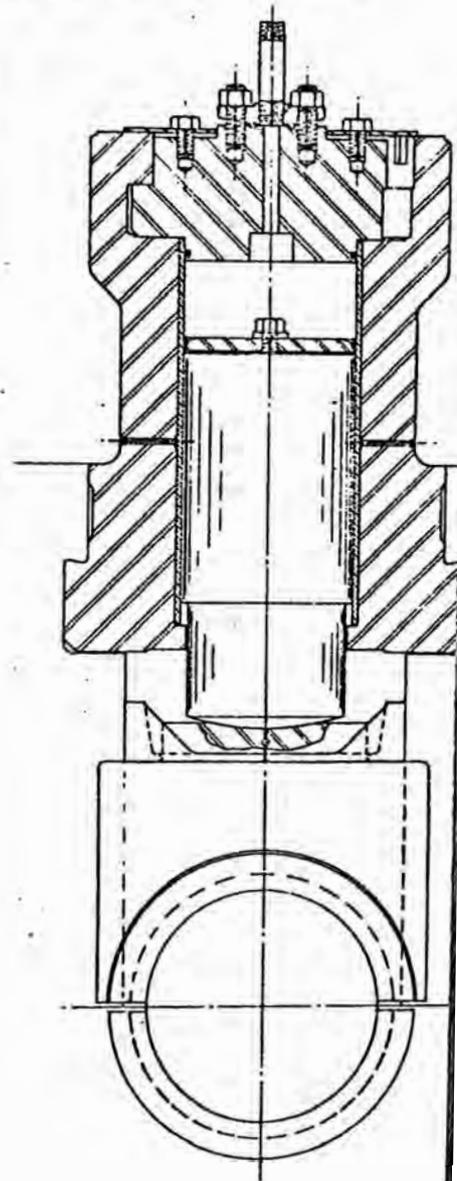
DISEÑOS ANTIGUO Y
MODERNIZADO DE
TAPAS HIDRÁULICAS
PARA MOLINOS
CON PERNOS REALES.



Tapas hidráulicas
antiguas con
pistones cortos.



Tapas hidráulicas
modernizadas con
pistones largos.



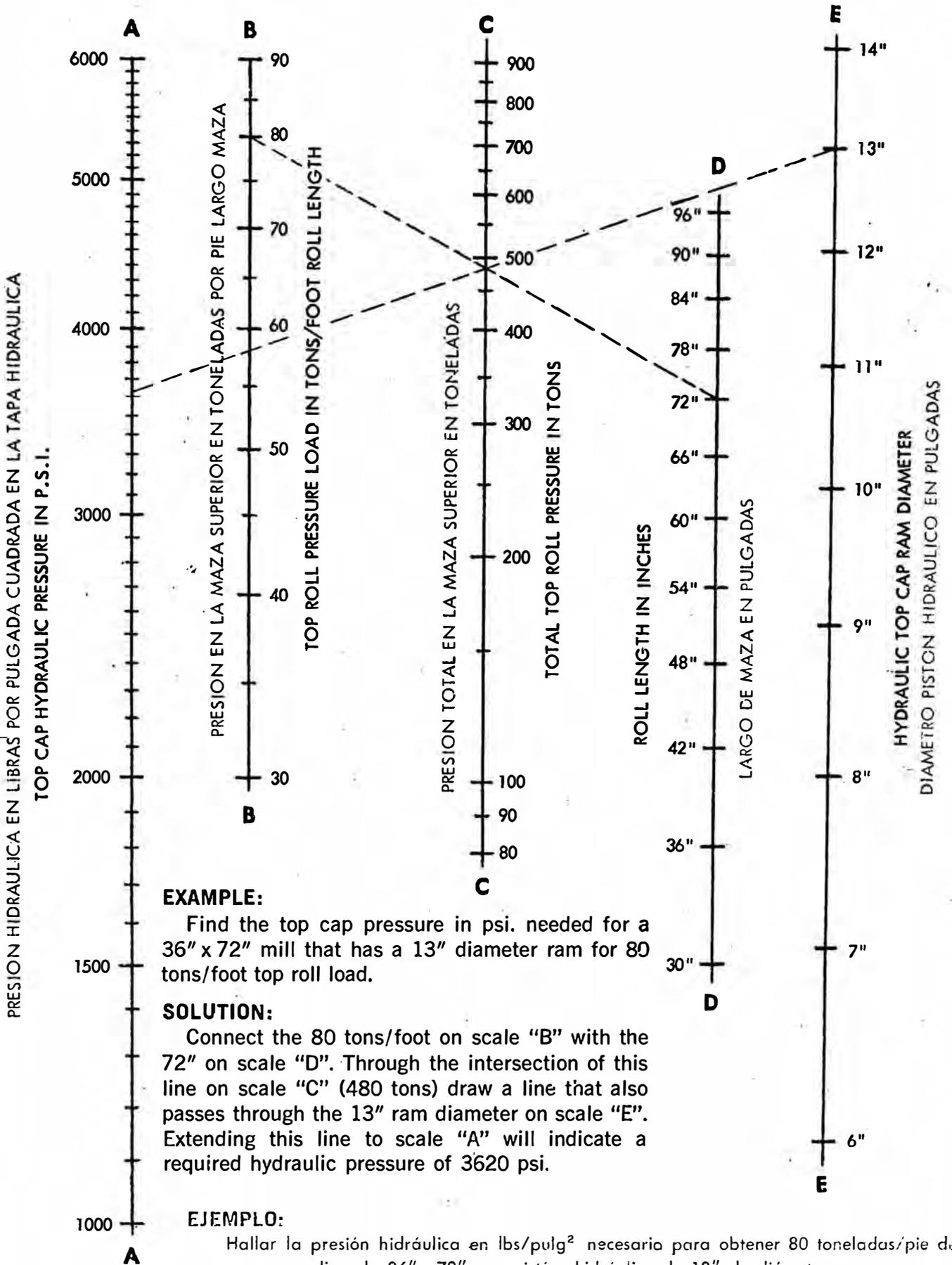
Tapas hidráulicas modernas
Fulton con pistones largos por
vírgenes sin pernos reales.

Fig. 2

Siendo F la fuerza que se aplica al cilindro superior de un molino.

El gráfico mostrado en la Fig. 3 muestra un ejemplo del cálculo de la presión hidráulica para molinos Fulton.

FULTON IRON WORKS CO.



EXAMPLE:

Find the top cap pressure in psi. needed for a 36" x 72" mill that has a 13" diameter ram for 80 tons/foot top roll load.

SOLUTION:

Connect the 80 tons/foot on scale "B" with the 72" on scale "D". Through the intersection of this line on scale "C" (480 tons) draw a line that also passes through the 13" ram diameter on scale "E". Extending this line to scale "A" will indicate a required hydraulic pressure of 3620 psi.

EJEMPLO:

Hallar la presión hidráulica en lbs/pulg² necesario para obtener 80 toneladas/pie de maza en un molino de 36" x 72" con pistón hidráulico de 13" de diámetro.

SOLUCION:

Trace una línea conectando las 80 tons/pie en la escala "B" con las 72" en la escala "D". A través de la intersección de esta línea con la escala "C" (480 tons) trace una línea que pase también por 13" diámetro de pistón en la escala "E." Extendiendo esta línea hasta la escala "A" indicará la presión hidráulica requerida de 3620 lbs/pulg²

Fig. 3



b.- PRESION MEDIDA EN EL BAGAZO

La fuerza "F" aplicada en el cilindro superior es transmitida al bagazo la cual se distribuye de acuerdo con las medidas del cilindro. Para un molino más grande la presión se repartirá en un área mayor, dependiendo también del espesor del colchón de bagazo.

Consideremos la Fig. N°4 como la sección transversal de un molino trabajando, se puede imaginar que representa cilindros de

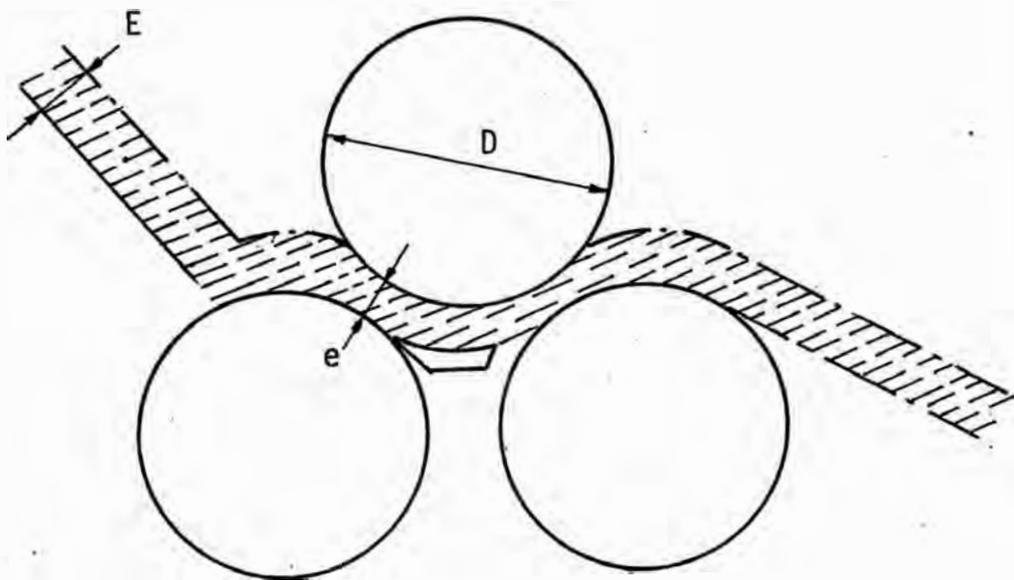


Fig. 4

500 mm. de diámetro a la escala 1/20 ó cilindros de 1000 mm. de diámetro a escala 1/40 ó en fin cilindros de no importa que diámetros a la escala correspondiente. Puede asumirse también que el colchón de bagazo, mostrado en la figura, corresponderá también a un espesor de terminado por una escala, pero proporcional a los cilindros según el caso.

Para un colchón de bagazo igual a una fracción dada del diámetro de los cilindros, el resultado sobre el bagazo será idéntico por lo que la fuerza total aplicada al cilindro superior será proporcional a LD:

$$F = KLD \quad (4)$$

siendo K : un coeficiente numérico.

L : Longitud del cilindro.

D : Diámetro del cilindro.

Se ve ahora una manera lógica de integrar las dimensiones de los cilindros con la fuerza total, no la longitud de los cilindros sino el producto LD de su longitud por el diámetro.

La fuerza de aplicación relacionada con LD no representa nada tangible a la imaginación. Además se encuentra que por el grueso del bagazo que se hace pasar comunmente en los molinos, la presión media aplicada sobre el bagazo es semejante a la que se aplicaría por la fuerza total F, supuesta y uniformemente repartida sobre una superficie plana de longitud L y de un ancho equivalente a un décimo del diámetro del cilindro.

Esto nos define la presión hidráulica específica de un molino a la cual la llamaremos P.H.E. por el coeficiente

$$p = \frac{F}{0.1 LD} \quad (5)$$

En donde:

p = presión hidráulica específica en tn/dm²

F = Fuerza Total sobre el cilindro superior en tn.

L = longitud de los cilindros en dm.

D = diámetro de los cilindros en dm.

Esta noción de la P.H.E. mucho más tangible sería usada con posterioridad.

c.- DISTRIBUCION DE FUERZAS

Hay dos tipos de molinos de caña; la desmenuzadora y el molino propiamente dicho.

En una desmenuzadora que consta de dos cilindros, las reacciones resultantes de una fuerza "F" ejercida sobre el cilindro superior son muy simples. Se tiene una reacción Fg sobre los cojine - tes superiores y una reacción Fi sobre los cojinetes del cilindro inferior (Fig. N°5). Cada una de estas reacciones es igual a F.

$$F = F_g = F_i$$

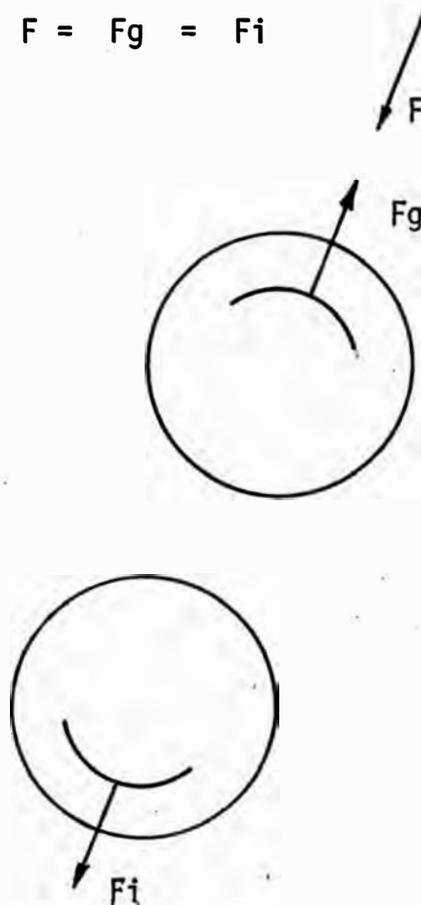


Fig. 5

En un molino propiamente dicho la descomposición es más compleja. La reacción sobre los cojinetes superiores es igual a la fuerza F . Si no hubiera la cuchilla central, la Fuerza F se descompondría en dos reacciones F_1 a la entrada y F_2 a la salida del colchón de bagazo (Fig. 6), siendo ésta última más alta porque en general el ajuste a la salida del bagazo es siempre más cerrado que a la entrada.

En realidad una parte de la fuerza F se absorbe en la cuchilla central; la reacción de ésta está desplazada ligeramente del plano axial vertical. Si desechamos este ligero desplazamiento, que es muy pequeño, veremos que las reacciones F_1 y F_2 sólo se producirán por la fracción restante de F (Fig. N°7).

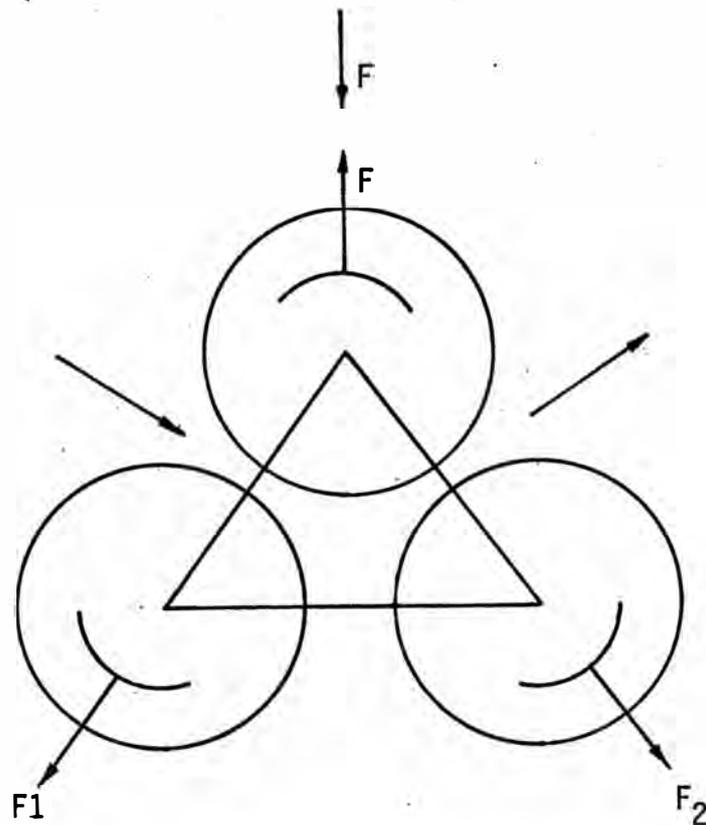


Fig. 6

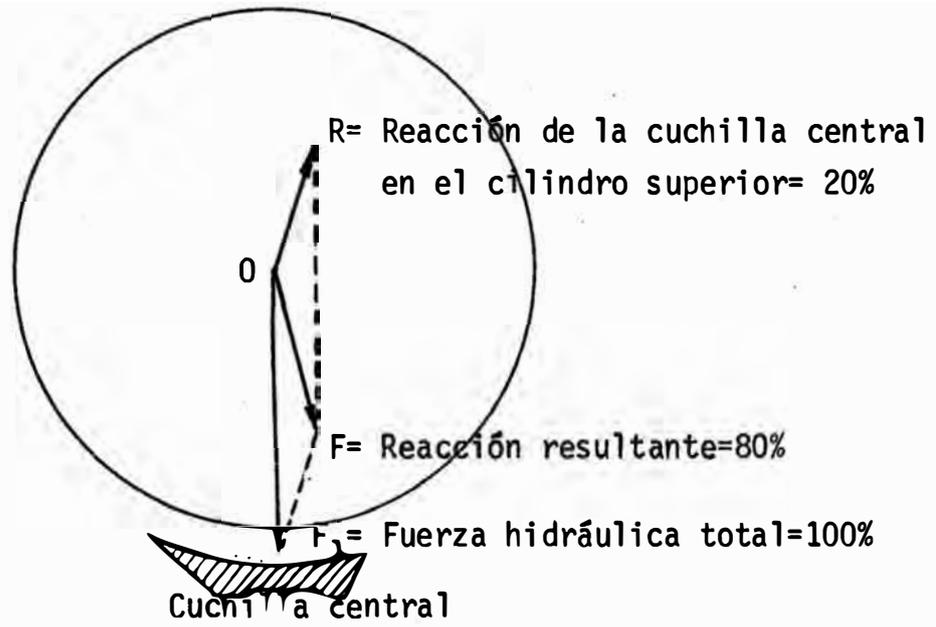


Fig. 7

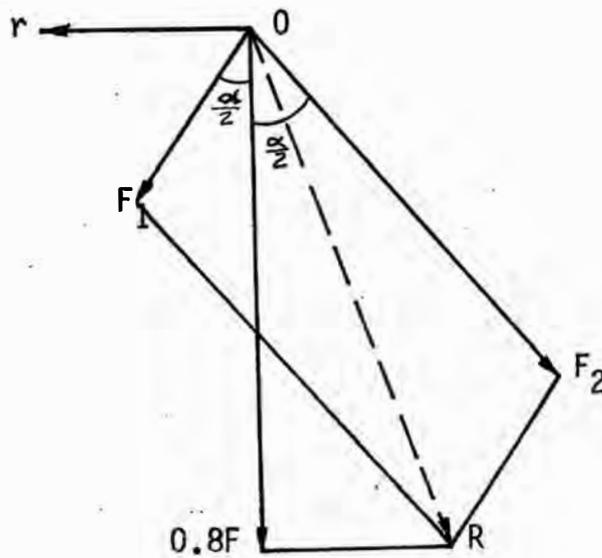


Fig. 8

R = Reacción de la cuchilla central en el cilindro superior.

F = Reacción resultante.

F' = Fuerza total debido a la presión hidráulica.

La fracción de F que absorbe la cuchilla ha sido ampliamente discutida y obtenida experimentalmente por muchos tratadistas, considerando algunos de ellos como que es del orden del 5% (Lenky) otros como Munson estiman que es del orden del 20% (Munson - Sugar Bulletin Vol. 20, N°18). Este último estimado acompañado de las experiencias realizadas es considerado actualmente como el más aproximado, siempre y cuando la cuchilla no tenga un ajuste muy bajo, aunque la cuchilla independientemente de su posición acumulará bagazo hasta que el espesor del colchón corresponda aproximadamente a una cierta reacción constante que acabamos de estimar en un 20 % de la fuerza aplicada al cilindro superior.

En consecuencia, estando el 20 % de la fuerza hidráulica F absorbida por la cuchilla, el 80% restante será el que sea aplicado a las reacciones F_1 y F_2 a la entrada y a la salida del molino.

Relacionando estas fuerzas en el punto de unión "0" en el centro del molino superior y se proyectan sobre la vertical (Fig. 8) tendremos:

$$F_1 \cos \frac{\alpha}{2} + F_2 \cos \frac{\alpha}{2} = 0.8 F \quad (6)$$

de donde:

$$F_1 + F_2 = \frac{0.8 \cdot F}{\cos \frac{\alpha}{2}} \approx F$$

lo que demuestra que la suma de las reacciones F_1 y F_2 permanece constante aún si sus valores relativos varían, ya que siendo el valor de α casi siempre 60° por tratarse de un molino en que sus cilindros son prácticamente iguales, el $\cos 30^\circ$ es prácticamente 0.8.

De todo esto se concluye que la suma de las fuerzas que se aplican sobre los seis cojinetes de un molino trabajando tiene un valor constante que es de aproximadamente:

$$F + F_1 + F_2 = F + F = 2 F \quad (7)$$

d.- CALCULO DE LA RESULTANTE Y MAXIMA COMPRESION

Este punto será contemplado ampliamente bajo los rubros e y f del Capítulo III ya que es necesario conocer previamente las relaciones de la presión en el molino y la compresión del bagazo tratados previamente en el Capítulo III rubros b y c.

III RELACION ENTRE LA COMPRESION DEL BAGAZO Y LA PRESION DEL MOLINO

a.- DEFINICIONES

Para una mejor comprensión del tema utilizaremos más adelante la nomenclatura y las abreviaciones siguientes:

F.H.T. = Fuerza hidráulica total sobre el cilindro superior. Es el número de toneladas que se obtiene multiplicando la sección total de los dos pistones por la presión del aceite contada en kilogramos por centímetro cuadrado.

P.H.E. = Presión hidráulica específica. Es la cifra obtenida (Fórmula 5) suponiendo la F.H.T. uniformemente repartida sobre una superficie plana rectangular que tiene como largo la longitud del cilindro y como ancho un décimo del diámetro. Esta P.H.E. está medida en tn/dm^2 o sea:

$$P.H.E. = \frac{F.H.T.}{0.1LD} \quad (8)$$

F.H.R. + Fuerza hidráulica resultante. Es la componente del lado de entrada F_1 o de salida F_2 correspondiente a la F.H.T.

P.H.R.E. = Presión hidráulica resultante específica.

$$P.H.R.E. = \frac{F.H.R.}{0.1LD} \quad (9)$$

b.- COMPRESION

Para tener una idea de la compresión en el bagazo, consideremos una cierta cantidad de bagazo suelto (es decir no comprimido) (Fig. 9a). La densidad aparente, es decir, el peso por decímetro cúbico de este material no tiene un valor constante porque depende de la cantidad de agua contenida o absorbida por el bagazo. Si agregáramos agua a este bagazo, su volumen no cambia pero su peso aumentará en la medida del agua agregada. El bagazo tal como la esponja tiene un gran poder de absorción de agua que varía entre 5 a 10 veces su peso de materia seca.

Sin embargo, hay un elemento que no varía mucho en el bagazo suelto tal como se presenta a la entrada de los últimos molinos. Este es el peso de fibra que contiene por unidad de volumen. Este peso es aproximadamente de 60 a 65 grs. de fibra por dm^3 .

Si sobre el bagazo suelto aplicamos una presión (Fig.9b) su volumen disminuirá rápidamente al principio y más lentamente después. Considerando que esta presión se aplica en su sólo sentido sobre una misma área, tendremos la "compresión" como la relación del volumen de bagazo comprimido al volumen de bagazo suelto

$$c = \frac{h}{H}$$

El volumen del bagazo suelto como se indica, es difícil de determinar, en cambio el volumen del bagazo comprimido es un va-

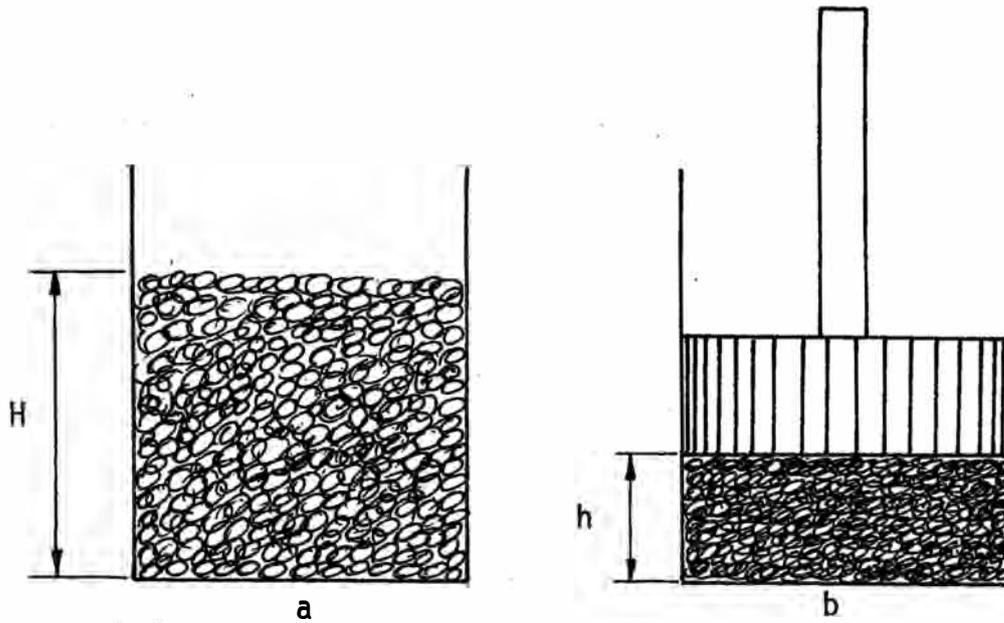


Fig. 9

lor bastante preciso e independiente de su estado, de su división, del tipo de capa, etc., aún cuando la presión aumenta. Todos los razonamientos están basados en ese volumen y antes de cualquier presión. Pero deberá entenderse que en la práctica, es siempre el peso de fibra por unidad de volumen el solo valor que se tomará como base cuando sea necesario convertir en cifras los razonamientos y cálculos teóricos.

Refiriéndonos a la Fig. 9 podemos hallar una equivalencia

o sea:

s = superficie del bagazo.

b = peso de la fibra por unidad de volumen de bagazo comprimido.

B = peso de la fibra por unidad de volumen de bagazo suelto.

Considerando que el peso de la fibra será el mismo en las dos situaciones, tendremos:

$$sH.B = sh.b$$

de donde: $\frac{h}{H} = \frac{B}{b}$

teniendo entonces: $c = \frac{h}{H} = \frac{B}{b}$ (10)

En otras palabras; la compresión del bagazo o la relación entre el espesor del bagazo comprimido y el espesor del bagazo suelto, puede igualmente medirse por la relación entre el peso de la fibra por unidad de volumen de bagazo suelto y del bagazo comprimido.

c.- RELACION ENTRE LA PRESION Y LA COMPRESION

Noél Deerr (Tabla -1) ha establecido experimentalmente una relación entre la compresión del bagazo y la presión empleada para obtenerla. Esta experiencia tiene el inconveniente de haberse hecho estáticamente por medio de un pistón sobre el fondo de un cilindro. Sin embargo, un resultado aplicado sobre un molino es bastante aproximado.

Estos resultados han sido llevados sobre una gráfica (Fig. 10) representándose por medio de puntos negros aislados.

Se puede apreciar que al principio, solo es necesario ejercer una ligera presión para disminuir considerablemente la altura del bagazo. Posteriormente, cerca de los 20 kg/cm² la resistencia aumenta bruscamente y de ahí en adelante son necesarias presiones más y más altas para obtener una compresión suplementaria. A partir de los 50 kg/cm² el colchón de bagazo se hace cada vez más incomprensible y para una presión 10 veces superior por ejemplo a 500 kg/cm², sólo reduce el espesor del colchón en la proporción de 11 a 7.

La relación existente entre la presión aplicada sobre el bagazo y la compresión ha sido deducida de los datos que da Deerr por E. Hugot y se expresa de la siguiente manera:

$$p = \frac{70}{(10c)n} \quad (11)$$

<u>Presión en Kg/cm²</u>	<u>Compresión</u>
0.077	100
0.429	68.2
0.780	57.7
1.132	50.7
1.483	44.8
1.835	40.8
2.186	39.3
2.538	36.2
2.889	33.6
3.241	31.8
3.592	30.3
3.944	29
5.835	24.1
11.389	18.5
23.269	14.7
33.744	11.6
45	11.4
49.4	11
83.9	10.2
112	9.2
168	8.56
224	8.12
279.2	7.9
335.9	7.68
391.9	7.46
447.7	7.25
503.8	7.02
559.5	6.91
615.6	6.80
727.4	6.70
839.4	6.58

Tabla 1

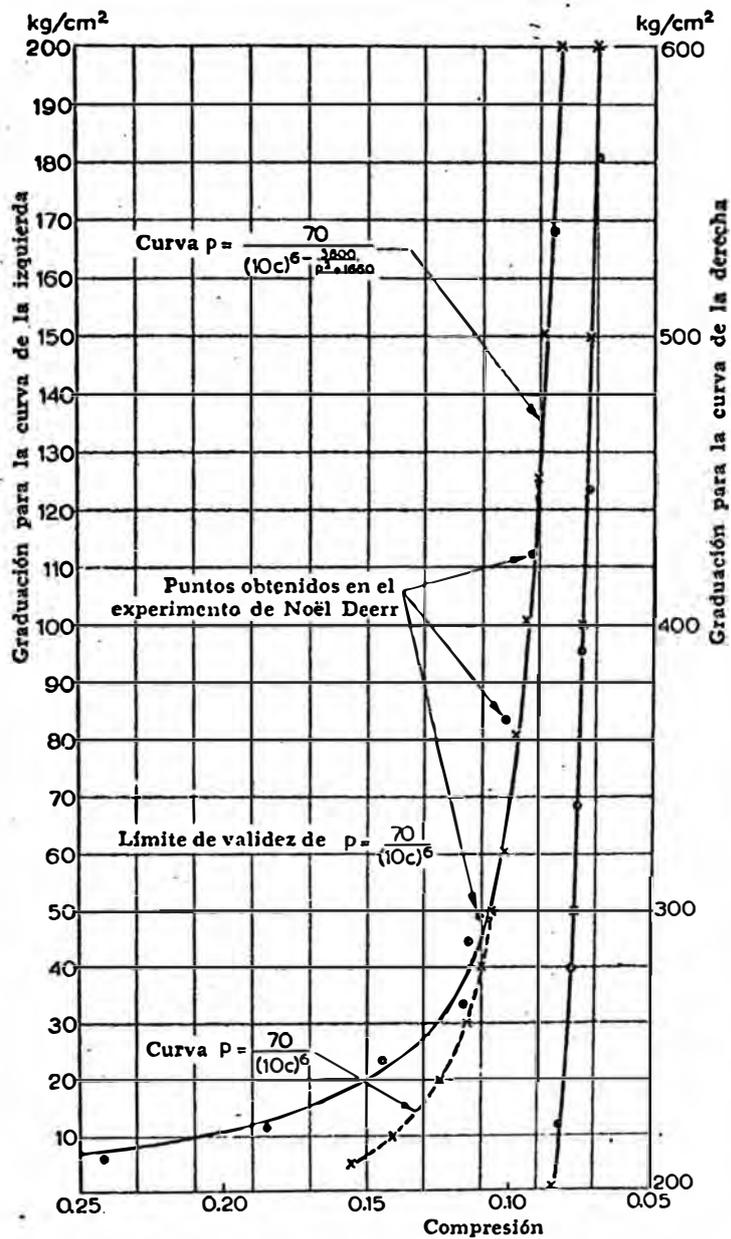


Fig. 10

en donde:

$$n = 6 - \frac{5800}{p^2 + 1660}$$

Siendo:

p = la presión aplicada al bagazo en kg/cm^2 .

c = compresión del bagazo definido por la fórmula (10).

Esta fórmula bastante difícil de manejar, puede ser reemplazada para todos los valores de p iguales o mayores de 50 kg/cm^2 con la fórmula simplificada dada también por Hugot.

$$p = \frac{70}{(10c)^6} \quad (12)$$

Se puede comprobar en la gráfica de la Fig. 10 que las curvas que representan las fórmulas (11) y (12) coinciden a partir de $p = 50 \text{ kg/cm}^2$.

El uso de molinos de mayor velocidad ha hecho necesario un reacondicionamiento de estas fórmulas, llegándose a una relación práctica en la que se toma en cuenta la velocidad de expulsión del jugo y el estado de división en que se encuentra el bagazo. Para este caso tenemos:

$$p = \frac{88}{(10c)^6} \quad (13)$$

d.- CURVA DE LA PRESION DEL MOLINO

Considerando dos cilindros cualesquiera, que bien pueden ser los dos de entrada, o los dos de salida de un molino. Refiriéndonos a la Fig. (11)-, en donde:

D = diámetro de los cilindros

R = radio medio de los cilindros

H = grueso del colchón de bagazo suelto a la entrada del molino.

K = distancia entre las dos superficies medias entre los dos cilindros tomada en un plano axial común.

L = distancia entre el punto "A" en que el colchón de bagazo encuentra al cilindro, al plano axial entre los dos cilindros.

Consideremos la sección PP' de bagazo, con h como espesor correspondiente. En este punto la compresión tendrá un valor de

$$c = \frac{h}{H}$$

Para calcular la curva de presión deberemos conocer:

1.- La variación de presión desde el punto A, que es nula,

hasta el punto M en que es máxima.

2.- El valor de la compresión alcanzada en M que es máximo.

3.- La resultante de todas las presiones en todas las secciones como PP' , que deberá ser igual y opuesta a la presión P ejercida sobre el cilindro superior.

En realidad la presión que sufre el bagazo es igual a la presión P aumentada de una cierta componente del peso del cilindro, sin embargo, esta componente se eliminará en el cálculo por ser relativamente pequeña con relación a la presión hidráulica, además se compensa con la reacción en los piñones.

1.- Valor de la presión en cada punto.

De la Fig. (11) podemos deducir que:

$$PP' + 2 P_0 \cos \alpha = 2 M_0 + MM'$$

reemplazando valores y despejando PP' tendremos:

$$h = k + 2R - 2 \sqrt{R^2 - p^2}$$

De donde deducimos que la compresión en el punto P será de acuerdo con la fórmula (10):

$$c = \frac{k + 2R - 2 \sqrt{R^2 - p^2}}{H} \quad (14)$$

Siendo la compresión máxima "C" en el punto M igual

a:

$$c = \frac{k}{H} \quad (15)$$

entonces tendremos reemplazando en (14) lo siguiente:

$$c = C + \frac{2R}{H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{L^2}{R^2}} \right) \quad (16)$$

En esta fórmula para todos los valores de L que son pequeños comparados con R, puede reemplazarse el radical por su desarrollo llevado hasta los dos primeros términos:

$$(1 - x)^n = 1 - n \cdot x + \frac{n(n-1)x^2}{1 \cdot 1-2}$$

en donde $x = \frac{L^2}{R^2}$ y $n = 1/2$

teniendo entonces en la fórmula (16)

$$c = C + \frac{2R}{H} \left(1 - 1 + \frac{L^2}{2R^2} \right)$$

Simplificando

$$c = C + \frac{L^2}{RH} \quad (17)$$

Esta fórmula dará valores prácticamente idénticos en la región cercana a MM', que es la que realmente interesa. La aproximación es buena para valores de $L < R/2$ y es más aceptable por que el error que origina puede despreciarse en las regiones alejadas del plano axial OO', lugar en que las presiones son muy pequeñas en comparación a las que se desarrollan en las cercanías del plano axial.

En consecuencia usando la formula (13) tendremos:

$$P = \frac{88 \dots}{(100)^6}$$

tomando el valor de c de la fórmula (17) tendremos:

$$P = \frac{\dots 88 \dots}{10^6 \left(c + \frac{L^2}{RH} \right)^6} \quad (18)$$

Un ejemplo práctico de la curva de presión de un molino la da Hugot en su libro el que ha sido tomado para una mejor ilustración del tema.

Considerando la gráfica de la Fig. (12) en la que se da la curva de presión de un molino que funciona bajo las siguientes condiciones:

D = diámetro de los cilindros 700mm.

H = espesor del colchón de bagazo a la entrada de los cilindros 171mm.

K = distancia entre los cilindros trabajado 11mm.

Estas condiciones corresponden a un FHR de 342 tn. o sea una P.H. RE de 35.6 tn/dm². tomando en cuenta la fórmula (9).

Para una segunda condición en que la FHR es de 97 tn. con una PHRE de 10 tn/dm². se establece otra curva en la misma figura. En estas dos curvas se ha usado la fórmula (11) en donde no es necesario hacer la corrección de las ramas de la curva alejadas del eje.

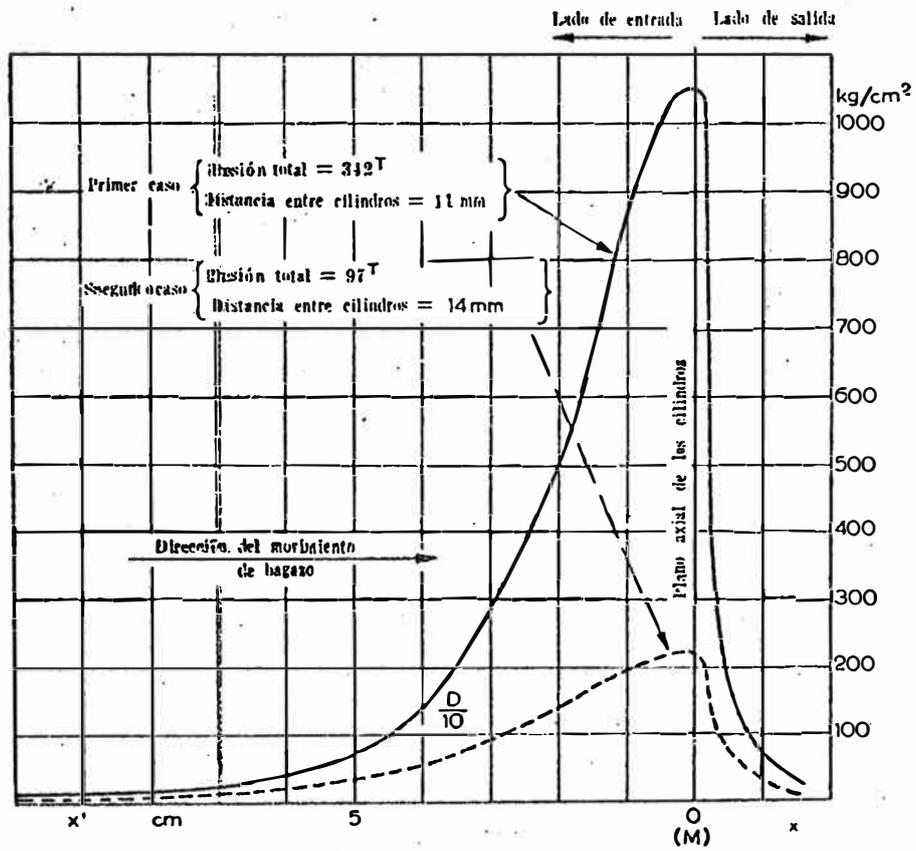


Fig. 12

En esta curva las ordenadas a 10, 5, 3, 2 y 1 cm. del plano axial representan claramente la presión desarrollada a 10, 5, 3, 2 y 1 cm. de este plano. También se puede notar en las curvas que casi la totalidad de la presión se ejerce en los 5 cm. anteriores al plano axial.

El área comprendida entre el eje de las x y la curva, representa la fuerza total (F.H.R.) aplicada por el cilindro superior. Si esta estuviera uniformemente repartida sobre un ancho igual a la décima parte del cilindro, correspondería a la presión media que viene a ser igual a la PHRE.

El cálculo de la curva al lado de la salida es bastante difícil de realizar por lo que muchos autores consideran que debido a que la caída de presión debe ser prácticamente instantánea y vertical cuando el bagazo haya pasado del plano axial en algunos milímetros. Es por eso que la prolongación de la curva es completamente hipotética y está desligada de todo fundamento matemático o experimental.

Ante esta imposibilidad se considera que la contribución del lado de la salida, a la reacción sobre el cilindro superior es el 5% de la suma de las presiones en el lado de la entrada .

e.- CALCULO DE LA REACCION RESULTANTE

La F.H.R. determina la compresión del bagazo, siendo esta compresión del bagazo, siendo esta compresión tal, que la suma de las presiones en cada sección PP' (Fig. 11) corresponde a la P.H.R.

Habiendo adoptado el kg/cm². como unidad de presión, consideremos una sección de 1 cm. de espesor, tomada sobre la longitud del cilindro y relacionémosla con la fig. 11. Si llevamos la presión en cada punto P a la línea de las ordenadas, la suma de todas las presiones representará la reacción total del bagazo sobre el cilindro, reacción igual y opuesta a la presión ejercida por el cilindro sobre el bagazo.

Como el fenómeno es irreversible en el lado de la salida, nos limitaremos provisionalmente a la parte izquierda de la figura, desde la entrada del bagazo hasta su paso por el plano axial.

La reacción total, F₁ correspondiente al corte de un centímetro considerado, tiene por valor:

$$F_1 = \int_0^L p \cdot dl \quad (19)$$

con p = presión en el punto P sobre el elemento de superficie dI (de longitud dI y de 1 cm. de profundidad).

Reemplazada en (19) el valor de p dado en la Fórmula (18) tendremos:

$$F_1 = \frac{88}{10^6} \int_0^L \frac{dI}{\left(\frac{c+I^2}{RH}\right)^6} \quad (20)$$

En esta fórmula no se toma en cuenta la inclinación de la superficie dI cuando se llega a una cierta distancia del plano axial. La reacción total es producida casi completamente por los puntos situados muy cerca del plano axial en los que las superficies dI son prácticamente perpendiculares al plano.

VALOR DE L.

De acuerdo con la definición de compresión, en el punto "A" de la fig. (11) tendremos que ella es igual a uno por lo que refiriéndonos a la fórmula (16) tendremos:

$$1 = c + \frac{2R}{H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{L^2}{R^2}} \right)$$

Simplificando

$$H(1 - c) = 2R - 2 \sqrt{R^2 - L^2}$$

δ

$$\sqrt{R^2 - L^2} = \frac{R - H(1 - c)}{2}$$

de donde

$$L^2 = \frac{H(1-C)}{4} \left[4R - H(1-C) \right]$$

despejando L y simplificando, tendremos finalmente

$$L = \sqrt{H(1-C) \left[R - \frac{H(1-C)}{4} \right]} \quad (21)$$

CALCULO DE LA INTEGRAL

Consideremos

$$z = \frac{l}{CRH} \quad (22)$$

tendremos en (20)

$$F_1 = \frac{88}{10^6} \int_0^L \frac{dl}{c^6 \left(1 + \frac{l^2}{CRH} \right)^6}$$

o sea

$$F_1 = \frac{88}{10^6 c^6} \int_0^L \frac{dl}{(z^2 + 1)^6}$$

Pero en (22) tendremos

$$dz = \frac{dl}{\sqrt{CRH}}$$

De donde

$$dl = \sqrt{CRH} dz$$

Reemplazando dl en F_1 tendremos

$$F_1 = \frac{88 \sqrt{CRH}}{10^6 c^6} \int_0^L \frac{dz}{(z^2 + 1)^6} \quad (23)$$

Considerando

$$Y = \int_0^L \frac{dz}{(z^2+1)^6} \quad (24)$$

Esta integral obtenida por recurrencia nos conduce al siguiente resultado.

$$Y = \frac{9 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 3}{10 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 2} \left[\text{Arctgz} z + \frac{z}{1+z^2} + \frac{2}{3} \cdot \frac{z}{(1+z^2)^2} + \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 5} \cdot \frac{z}{(1+z^2)^3} + \frac{2 \cdot 4 \cdot 6}{3 \cdot 5 \cdot 7} \cdot \frac{z}{(1+z^2)^4} + \frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8}{3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9} \cdot \frac{z}{(1+z^2)^5} \right]_0^L \quad (25)$$

Si $l=0$ y $2=0$, la expresión entre los corchetes es nula, la integral tiene entonces el mismo valor que el segundo miembro de la igualdad (25) reemplazando z por:

$$z = \frac{L}{\sqrt{CRH}} \quad (26)$$

Reemplazando el valor de L dado en la fórmula (21)

$$z = \sqrt{\frac{H(1-C)}{CRH} \left[R - \frac{H(1-C)}{4} \right]}$$

o sea

$$z^2 = \frac{1-c}{c} \left[1 - \frac{H(1-c)}{4R} \right] \quad (27)$$

de la igualdad (25) los corchetes comprenden 6 términos.

Cuando Z aumenta, el primer término, $\text{arc tg } z$ tiende hacia $\frac{\pi}{2} = 1.57$ y los últimos 5 términos tienden rápidamente hacia cero. El límite de la expresión entre paréntesis es entonces 1.57 cuando Z aumenta, y ese límite se obtiene rápidamente: para $Z=1$, esta expresión tiene ya como valor 1.5599. Se pueden entonces reemplazar los términos entre los paréntesis por su límite 1.57 en todos los valores $z \geq 1$

$$Z > 1 \quad \text{o} \quad Z^2 > 1$$

Si

$$\frac{1-C}{C} \left[1 - \frac{H(1-C)}{4R} \right] > 1 \quad (28)$$

o:

$$C^2 + 2 \left(\frac{4R}{H} - 1 \right) C - \left(\frac{4R}{H} - 1 \right) < 0 \quad (29)$$

Este binomio es negativo para los valores de C comprendidos entre las 2 raíces C' y C'' . Además hay una raíz C' negativa y una C'' positiva. No pudiendo ser C negativa, esta condición se satisface por:

$$0 < C < C''$$

Pero

$$C'' = \sqrt{\frac{4R}{H} \left(\frac{4R}{H} - 1 \right) - \left(\frac{4R}{H} - 1 \right)} \quad (30)$$

C" varía de 0, para H= 4R a 0.50, para H=0. Dentro de los valores posibles de H, C" permanece comprendida entre 0.46 y 0.50. Además estas compresiones se obtienen fácilmente a mano y son bastante superiores a los valores industriales más pequeños.

De esta manera la condición (28) se llena completamente y se puede dar a la expresión entre los paréntesis su valor límite de $\pi/2$. Se tiene entonces:

$$Y = \frac{9.7.5.3}{10.8.6.4.2} \frac{\pi}{2} = 0.3864$$

Llevando este valor a la fórmula (23) y aumentando el 5% para incluir el lado de la salida, se obtiene:

$$F_1 = 1.05 \times 0.3864 \times \frac{88}{10^6} \frac{\sqrt{CRH}}{C^6} = \frac{35.7}{10^6} \frac{\sqrt{CRH}}{C^6} \quad (31)$$

Esta expresión (31) se refiere a una sección del cilindro de 1 cm. Para todo el ancho del cilindro tendríamos la F.H.R.

$$F.H.R = F = \frac{35.7 \cdot L}{10^6} \frac{\sqrt{CRH}}{C^6}$$

Reemplazando el valor de $R = \frac{D}{2}$ y H por la fórmula $K=CH$ tendremos finalmente:

$$F = \frac{25L}{10^6} \frac{\sqrt{KD}}{C^6} \quad (32)$$

en donde:

F= Fuerza total ejercida por el cilindro sobre el bagazo
(F.H.R), medida en kg.

L = Largo de los cilindros, en cm.

D = Diámetro de los cilindros, en cm.

K = Abertura media entre los cilindros, trabajando, en cm.

C = Compresión del bagazo en el plano axial de los cilindros = K/H .

f.- CALCULO DE LA MAXIMA COMPRESION

Todos los elementos de la fórmula (32) son conocidos o fáciles de determinar, con excepción de C. La compresión máxima C en el plano axial está definido por la fórmula

$$C = \frac{K}{H}$$

Refiriéndonos a la fórmula (11), se ha tomado distintos valores de acuerdo con una presión determinada tendremos la siguiente tabla:

<u>Presión en Kg/cm²</u>	<u>Exponente</u>	<u>Compresión</u>
1	2.51	0.5432
2	2.51	0.4116
4	2.54	0.3087
6	2.58	0.2591
8	2.64	0.2275
10	2.70	0.2059
12	2.78	0.1888
15	2.92	0.1697
20	3.18	0.1483

<u>Presión en Kg/cm²</u>	<u>Exponente</u>	<u>Compresión</u>
25	3.46	0.1347
30	3.73	0.1255
35	3.99	0.1190
40	4.22	0.1142
45	4.42	0.1105
50	4.60	0.1076
60	4.90	0.1032
70	5.11	0.1000
80	5.28	0.0975
90	5.40	0.0954
100	5.50	0.0937
120	5.63	0.0909
150	5.76	0.0876
200	5.86	0.0836
250	5.91	0.0806
300	5.93	0.0783
400	5.96	0.0747
500	5.97	0.072
600	5.98	0.070
700	5.98	0.0681
800	5.99	0.0666
900	5.99	0.0653
1,000	5.99	0.0641

Hugot ha integrado todos estos valores para todos los casos y que se cumplen para el valor de c

$$c = 0.93 KF/q \quad (33)$$

Donde

K = espesor del colchón de bagazo comprimido en el plano axial de los cilindros, en cm.

F = fibra del bagazo comprimido con relación a la unidad.

q = "carga de fibra" = peso de la fibra por unidad de superficie del cilindro escrito en kg/m².

IV VARIACIONES DE LA EXTRACCION DE JUGO EN FUNCION DE LA PRESION

Cuando la presión hidráulica aumenta a partir de un valor tomado como base, la extracción aumenta al principio rápidamente y después, cuando la P.H.E. llega a unas 15 tn/dm², la extracción aumenta lentamente.

Se ha tomado una prueba experimental realizada por Bourbon en una batería de 11 cilindros de 710 x 1370 mm, con una caña de 13.10% fibra, imbibición 18% y haciendo variar la presión hidráulica.

La siguiente es la tabla con los datos obtenidos en el experimento práctico:

P.H.E en tn/dm² y en tn/pie².

	<u>Tn/dm²</u>	<u>tn/pie²</u>	<u>Extracción</u>	<u>Jugo perdido % Fibra</u>
1ra. Prueba	16.2	148	92.6	49.7
2da. "	14.1	129	92	54.3
3ra. "	11.8	108	90.4	65.2
4ta. "	9.8	96	88.7	73.4

En la fig. 13 se puede apreciar gráficamente esta variación.

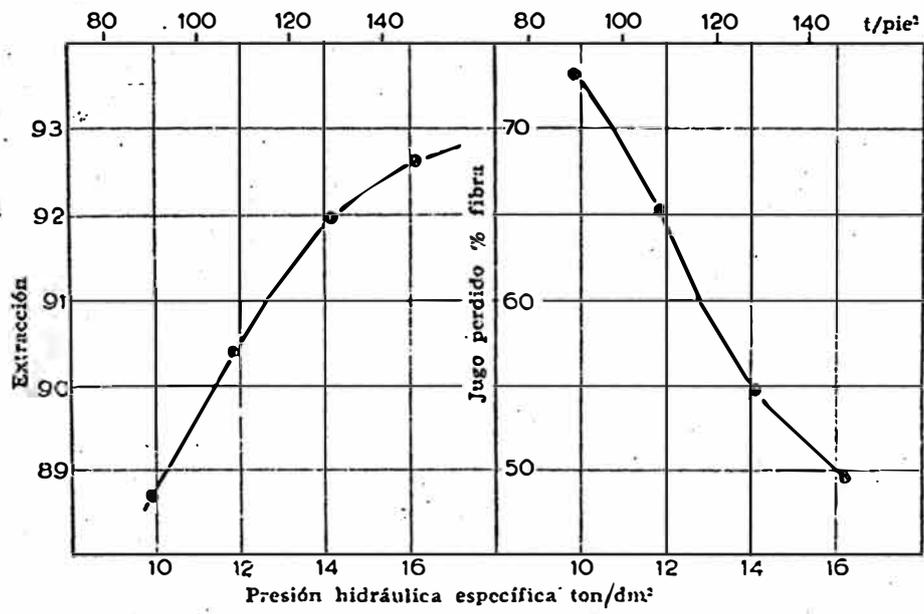


Fig. 13

VI CONCLUSIONES

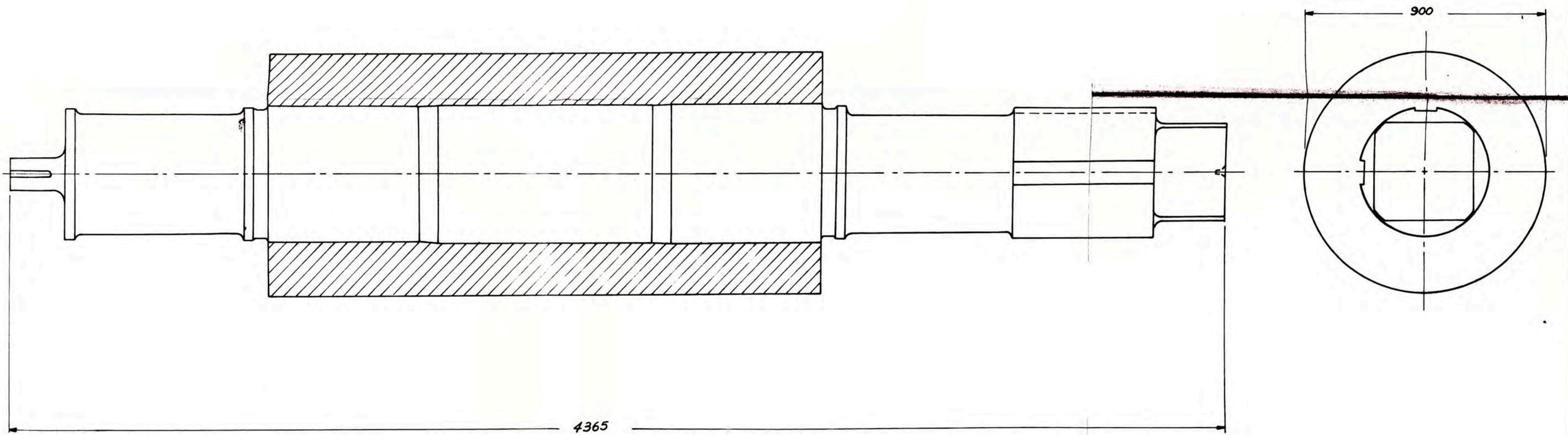
Del estudio realizado y de la observación directa hecha por el suscrito en un molino de caña se puede concluir que hay infinidad de factores que afectan su rendimiento, dentro de estos el conocimiento del comportamiento de las fuerzas y presiones ejercidas en el molino son de suma importancia, como:

- La determinación de la capacidad y máxima carga a la que se puede someter a un molino.
- La capacidad de molienda de un molino
- La presión hidráulica requerida para una determinada carga
- El momento de renovación de cilindros cuando hay variación y/o desgaste disperejo de los mismos.
- Da las pautas necesarias para determinar los ajustes necesarios en los cilindros.

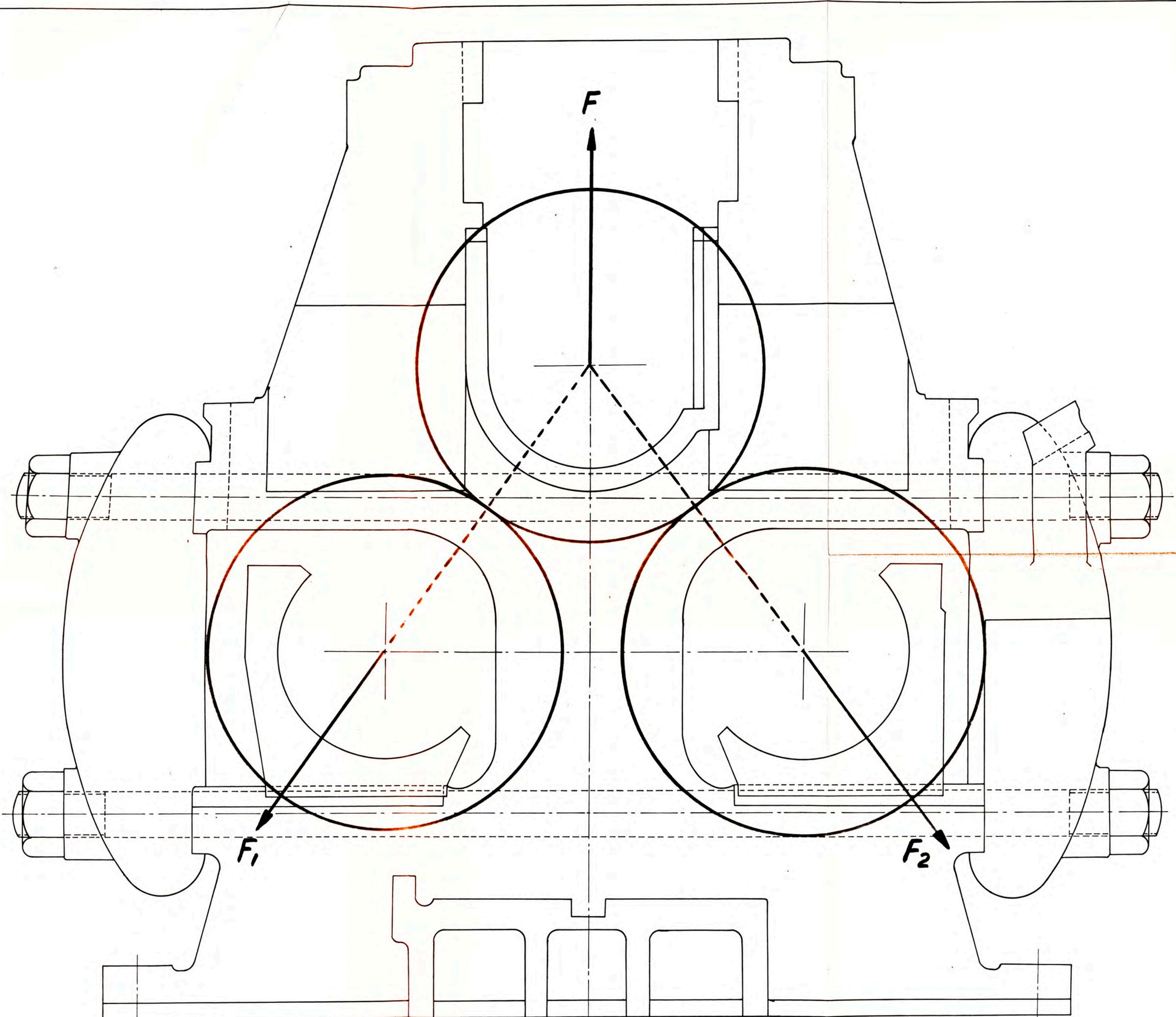
Indudablemente todo lo expuesto es una parte dentro de la ingeniería del molino de caña es por eso que la complementación mediante la práctica en el ingenio azucarero dará al encargado de la molienda de caña las herramientas suficientes para un buen desarrollo de sus actividades.

· · · B I B L I O G R A F I A · · ·

- The Mechanics of Crushing Sugar Cane por: Murry & Holt
- Basic Calculation for the Cane Sugar Factory por: J. Eisner
- La Sucrerie de Cannes por: E. Hugot
- Cane Sugar Handbook por: G. Spencer
- Bulletin of Fulton Iron Works



PROG. ACAD. DE ING MECANICA Y ELECTRICA U.N.I.			
NUMERO	DESIGNACION		ESCALA
1	CILINDRO DE MOLINO		1:10
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	APROBADO
4-7-72	HUGO DAVILA		



PROG. ACAD. DE ING. MECANICA Y ELECTRICA U.N.I.			
NUMERO	DESIGNACION	ESCALA	
2	DISTRIBUCION DE LOS CILINDROS EN UN MOLINO	$\frac{3}{16} = 1''$	
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	APROBADO
4-7-72	HUGO DAVILA		