

M
T/620-1/255

Universidad Nacional del Callao
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ENERGIA



PROYECTO - DISEÑO, AJUSTE Y OPERACION
DE UNA BATERIA DE MOLINOS DE CAÑA
DE AZUCAR DE VIRGEN INCLINADA, DE
5000 T.CD. DE CAPACIDAD DE MOLIENDA
PARA LA COOPERATIVA AZUCARERA
PARAMONGA

T E S I S

Presentada por :

744
FELIX VICTOR LEYVA ANTUNEZ

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO

Promoción 1981

CALLAO - PERU

1986

Con todo cariño y gratitud a mis Queridos Padres: .

JUAN LEYVA Y AMBROSIA ANTUNEZ

Que en cada momento me brindaron el aliento de su
operación con mucha sabiduría.

A mi Querida Prima: FELISA H. A.

Mi aprecio por su hospitalidad.

A mi Querida Hermana: JULIA

Fortaleza que me ilumina.

A mi Amigo: PEDRO M.

Por su apoyo Moral y Espi-
ritual.

A

JUSTINA

Mi Estimada Amiga.

Mi sincero Agradecimiento a los jurados:

Ing. ALBERTO HEREDIA Z.

Ing. RICARDO DOMINGUEZ

Ing. JORGE MONTAÑEZ L.

Ing. VICTOR REYES C.

I N D I C E

	Pág.
Prólogo	1
I Introducción	3
II Revisión de Literatura	6
III Ingeniería del Proyecto	11
3.0. Tamaño y localización de la Planta	11
3.0.1. Eficiencias	11
3.1. Proceso Industrial	11
3.1.1. Consideraciones básicas generales	11
3.1.2. Disposición de la Planta	15
3.1.3. Distribución de la Planta	17
3.1.4. Requerimiento de materia prima	18
3.1.5. Requerimiento de Energía térmica disponible...	21
3.1.6. Requerimiento de maquinaria y equipos	23
3.1.7. Descripción del Proceso Industrial	24
3.1.8. Descripción de equipos diversos utilizados en la preparación de caña	28
3.1.9. Descripción de los equipos de molienda	38
3.1.10. Descripción de la Técnica del proceso de Imbi- ción y Extracción de molienda	47
3.2. Control de los molinos	81
3.2.1. Ecuación básica de los molinos	81
3.2.2. Cálculo de rendimiento del tren de molinos ...	90
3.3. Ajuste de balance de materiales en la Industria Azuca	

rera	93
IV Evaluación de Parámetros	107
4.0. Acumulador hidráulico	107
4.0.1. Cálculo y selección del acumulador	111
4.1. Tuberías hidráulicas	117
4.1.1. Selección y cálculo de la tubería	118
4.2. Relación de levantamiento de los molinos	125
4.3. Presión hidráulica en los molinos	127
4.3.1. Polígono de fuerzas que actúan en un molino..	149
4.3.2. Cálculo y selección de la presión hidráulica.	153
4.4. Velocidad en los molinos	162
4.4.1. Cálculo y selección de la velocidad	165
4.5. Capacidad de los molinos	168
4.5.1. Cálculo de la capacidad	172
4.6. Potencia en los molinos	173
4.6.1. Cálculo de la potencia	175
V Diseño del molino de Virgen Inclinada	181
5.0. Diseño de mazas	181
5.0.1. Consideraciones básicas generales	181
5.0.2. Rayado de mazas superior e inferiores	191
5.0.3. Desgaste de las mazas	192
5.1. Cuchilla central	194
5.2. Cálculo y diseño de ejes	195
5.3. Contraejes y acoples	203
5.4. Diseño del soporte o virgen inclinada	204
5.5. Diseño del cabezote hidráulico	210
5.6. Selección de cojinetes o chumaceras de bronce	212

5.7. Selección de engranajes o coronas	218
5.8. Accesorios del molino	222
5.9. Información general y orden de instalación	223
5.10. Preparación de molinos para el servicio	227
5.11. Procedimiento para poner en marcha el molino	230
5.12. Mantenimiento recomendado del molino	235
VI Setting del Molino	241
6.0. Consideraciones básicas generales	241
6.1. Setting de las mazas de entrada y salida	250
6.1.1. Cálculo de los settings del molino	251
6.2. Setting de la cuchilla central	262
6.2.1. Cálculo del setting de la cuchilla	267
6.2.2. Settings recomendados de la cuchilla	272
VII Evaluación de Costos	275
7.0. Costo de materiales	276
7.1. Costo de transportes de equipos y personal, alojamiento y alimentación	278
7.2. Costo de mano de obra	279
7.3. Presupuesto, Fabricación, Montaje y Prueba del molino triturador de caña de azúcar	281
VIII Conclusiones y Recomendaciones	285
Apéndice	288
Bibliografía	297
Planos.	

PROLOGO

Dentro del ambito de la Industria Azucarera, los molinos trituradores de caña y los equipos de preparación de molienda van adquiriendo gran auge cada vez más a medida que se van encontrando nuevas innovaciones Razón por el cual, en el presente trabajo hago un estudio del: "Proyecto-Diseño, Ajuste y Operación de una Bateria de Molinos de Caña de -- Azúcar de Virgen Inclínada, de 5000 T.C.D. de Capacidad de Molienda-- Para el Ingenio Azucarero Paramonga".

El Primer capítulo, se inicia con la Introducción del Proyecto.

Segundo capítulo, Revisión de Literatura.

Tercer capítulo, Ingeniería del Proyecto: donde se dimensiona la capacidad de la Planta, sus limitaciones y alternativas de factibilidad y como también de los equipos componentes de preparación de caña para su ulterior aprovechamiento de extracción de jugo mediante la compresión del bagazo.

Cuarto capítulo, Evaluación de Parámetros: consiste en la determinación de los parámetros respectivos de la Presión hidráulica, velocidad, capacidad y la potencia instalada del tren de molinos.

Quinto capítulo, Diseño del molino de Virgen Inclínada: que consiste en el diseño de mazas, ejes, vírgenes o castillos, chumaceras, etc. y como también la operación y el mantenimiento adecuado de los molinos.

Sexto capítulo, Setting del Molino: donde se efectua el ajuste de las aberturas de entrada y salida de las mazas, y el ajuste de la cuchí-

lla central mediante un cálculo adecuado.

Séptimo capítulo, Evaluación de Costos.

Octavo capítulo, Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto.

El presente trabajo tiene la intención de ser una modesta contribución para el desarrollo en el sector de la Industria Azucarera y para todos aquellos que tengan inquietudes de estímulo de profundizar más su interés por la materia.

Muchas personas han sido muy generosos con sus comentarios y sugerencias. Mi sincero reconocimiento a los Ingenieros de la Cooperativa -- Azucarera Paramonga: Ing. Víctor Guerrero, Super-intendente General de Planta; Ing. Isidoro Rojas, Jefe de Laboratorio; Ing. José Villanueva Asesor Técnico de Planta de Molienda y el Ing. Alejandro Salazar, por sus valiosos comentarios y sugerencias inagotables y del mismo modo -- de los Técnicos de Trapiche por sus grandes aportes del conocimiento práctico de una Planta de moler, los señores Julio Gonzáles y Magno-- Rodríguez.

Deseo también expresar especialmente mi gratitud a mi maestro y asesor Ing. Víctor Manuel Reyes Campana, por su gran labor en la revisión del trabajo y reconocer su profesionalismo para la culminación del presente proyecto.

Finalmente deseo dejar constancia de la importante cooperación y apoyo recibido de la Cooperativa Azucarera Paramonga, para la ejecución del presente proyecto.

El Autor.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

La Industria Azucarera Peruana constituye uno de los principales renglones de la Economía Nacional, por el volumen de la producción y del valor económico que representa para el País en la generación de divisas.

Nuestro país cuenta con 96,000 hectáreas de caña de azúcar, de superficie total cultivada; de las cuales 56,000 hectáreas representan caña cosechada.

El año de mayor área cosechada se registró en 1977, con 55,599 hectáreas de caña y en 1981, se cosecharon tan solamente 38,639 hectáreas siendo ésta la menor superficie de los últimos 25 años; y que representa una disminución de 21.36 % respecto a 1960, y de 30.50 % menor con respecto al año 1977 (Boletín estadístico de la prod. azucarera, N° 01 - 02, OSH).

El año de mayor producción de azúcar a nivel nacional se registró en 1974, con 9'179,335 toneladas métricas de melicnda de caña; arrojando una producción total de 1'000,000 TM. de azúcar comercial, de los cuales 600,000 TM. estuvo destinada al consumo interno y el remanente para la exportación (producción récord de azúcar - año base 1974, CECOAP-1977).

Desde el año 1974 en que se alcanzó el récord de producción de azúcar hasta 1977 se había producido una disminución anual promedio de 30, 704 toneladas métricas de azúcar; y a partir del año 1978, en que empiezan a manifestarse los estragos de la sequía e inundaciones, de-

vido a factores climatológicos generaron pérdidas de áreas de cultivo y en consecuencia la productividad agrícola y la producción disminuyeron. Entre 1977 a 1981, la producción alcanzó una disminución anual promedio de 105, 560 toneladas métricas de azúcar debido a los estragos de la sequía, que prácticamente se prolongó hasta 1983; causando mucho daño a la Industria azucarera y al mercado interno.

En el año 1981 debido a la baja producción de azúcar y a la necesidad del abastecimiento nacional, el 99.9 % de la producción estuvo orientada al consumo interno y se tuvo que importar 150,000 TM. de azúcar, para poder cubrir la demanda nacional (Informe estadístico, cuarto trimestre, INE - 83).

La Industria Azucarera Peruana está constituida por doce principales centros Cooperativos ubicados en su mayoría en la región norte del territorio nacional. (zona costa).

En el Dpto. de Lima, se encuentran las cooperativas Andahuasi, Ingeniería y Paramonga. De los cuales la cooperativa Paramonga la que cuenta con mayor volumen de producción.

El azúcar aportado por éstas en primera línea es para cubrir la demanda nacional y en segundo término la cobertura de la cuota asignada por el Dpto. de agricultura de los Estados Unidos. Los excedentes, en caso de existir son colocados en el mercado mundial en función del nivel de precios del mismo.

La Cooperativa Azucarera Paramonga tiene una extensión de superficie cultivada de 6,384 hectáreas de caña de azúcar, y representa el 18 % de la producción nacional.

El consumo actual interno de azúcar por persona es de 50 Kg. por habitante año, aproximadamente y proyectados hacia el año 2025, la población será de 46'281,800 habitantes (Boletín de análisis demográfico : La Población del Perú de 1980 - 2025, su crecimiento y distribución, - INE-81). En consecuencia el consumo per-cápita se incrementará y en el futuro este incremento implicará la eliminación del mercado externo, si no se prevee en adelante cambios sustanciales en la tecnología de la Industria Azucarera Peruana.

El propósito del presente trabajo es con la finalidad de mejorar la eficiencia de trabajo de extracción del tren de molienda, mediante el incremento del tonelaje caña hora molida de capacidad.

Para ello se ha previsto la instalación de nuevos molinos de caña de virgen inclinada de 40" de diámetro de las mazas, sin modificar la longitud de la batería; ya que este tipo de molinos trabajan satisfactoriamente en la alimentación del bagazo sin sufrir mayores esfuerzos al atascamiento, mejorando el rendimiento de la batería a diferencia de los molinos verticales (virgen recto). Mediante el cual se incrementará la producción de azúcar comercial y poder satisfacer el consumo nacional en el futuro.

Factores que conjugados me ha permitido efectuar el presente proyecto para la Cooperativa Azucarera Paramonga, con la única intención de contribuir positivamente en el sector de la Industria Azucarera.

C A P I T U L O II

REVISION DE LITERATURA

La caña de azúcar es una planta muy antigua, de origen Asiático. Es una monocotiledónea de la familia de las gramíneas y del género *Saccharum*.

El campo es un factor determinante para la producción de caña de azúcar como materia prima, y que de allí se diga: "El azúcar se fabrica en el campo, y no en la fábrica".

La caña es entonces el producto agrícola de mayor valor para la industria azucarera, y su cultivo se hace extensivo desde el punto de vista social, económico y agrícola.

Desde el punto de vista agrícola, su cultivo es bastante amplio y complejo; tales como la preparación del terreno, variedad de caña, factor clima, edad y número de cortes, abono, riego, agoste, y etc.

En el presente trabajo no es necesario profundizar el estudio de la caña de azúcar por ser otro nivel de estudio.

La riqueza y fibra de caña varía de acuerdo a la variedad de caña, y éstos son factores determinantes para la melicada en función de su contenido de sacarosa.

El tallo de la caña está formado por nudos y entrenudos. Los entrenudos poseen mayor pureza y brix del jugo que el de los nudos. Esto es que, en una caña madura los jugos y la sacarosa son más pobres en los nudos con una pureza de 84 y brix 18; mientras que en los entrenudos el jugo y la sacarosa son más ricos, con una pureza de 90 y brix 20.

La fibra en caña es un factor importante en la molienda; vale decir— que con 20% de fibra se tiene aproximadamente 8 a 10 % de sacarosa y con 10 % fibra en caña se tiene alrededor de 16 % de sacarosa.

La temperatura es uno de los factores determinantes para el desarrollo y afinamiento de la caña. En el Perú varía de valle en valle y en primavera la caña adquiere mayor pureza, debido a que todo el invierno por la baja temperatura no ha crecido y sólo se ha almacenado de sacarosa y menor pureza se observa a fines de verano, durante el cual la caña sólo se ha desarrollado sin realizar el afinamiento de sus jugos; porque la caña sufre una acción conjunta del agua y del calor.

Su estudio del aumento y disminución de la pureza es importante, para determinar las épocas de molienda de caña de una planta azucarera.

La caña es un cultivo que requiere una temperatura media de 20 °C, pudiendo ser su temperatura óptima de 30 °C. desde el punto de vista industrial.

El factor clima es entonces uno de los medios influyentes para el afinamiento de los jugos de la caña de azúcar.

Actualmente en nuestro medio las épocas normales climatológicas están desordenadas y cada vez más hay escasez de lluvia. Produciéndose en 1978 sequías prolongadas e inundaciones sobre todo en los Departamentos de Lambayeque y la Libertad. Debido a estos estragos de la sequía los campos disminuyeron en rendimiento y a partir del año 1981, se vuelve a recuperar un incremento pequeño con respecto a 1980.

Fueron afectadas por este mal casi todas las cooperativas, a excepción de las cooperativas: Andahuasi, Ingenio y Chucarápi. Producción -

deseo de esta manera la disminución de la producción y la productividad.

La caña químicamente contiene los siguientes componentes:

1. Agua
2. Fibra
3. Azúcares, y a su vez éste se clasifica en sacarosa y azúcares reductores (glucosa y levulosa).
4. Cenizas
5. Gomas y otras
6. Y materiales nitrogenados.

En el Perú generalmente se corta la caña entre los 22 a 24 meses de edad, con una melianda de 50 % del cultivo al año.

Si, se meliara la caña a los 18 meses de edad; entonces la proporción de abastecimiento para el ingenio sería de 66%, y si fuera a los 15 meses, la melianda sería de 80 %. Sin embargo esto no ocurre en nuestro medio, debido a muchos factores, tales como factor clima, temperatura, etc.

Los rendimientos de caña cosechada en toneladas métricas por hectárea se estima un promedio de 280 TM/Ha, aproximadamente a nivel nacional.

Desde que empezó la sequía en 1978, la caña de azúcar ha ido en un aumento ligeramente. Registrándose en 1983 a nivel nacional una producción de 6'533,384 TM de melianda de caña (Cuadro N° 2.01).

Por consiguiente el consumo alcanzó a nivel nacional, 586,600 TM de a

añear, superando la producción de 445,925 TM de azúcar comercial. Por estas deficiencias el Perú, se ha convertido de importador de azúcar para cubrir la demanda del mercado interno.

La cooperativa agraria de producción azucarera "PARAMONGA LTDA N° 37" se encuentra ubicada en el valle de Pativilca, Departamento de Lima, Provincia de Chancay, Distrito de Paramonga.

Se encuentra situada a 45 metros de altura sobre el nivel del mar, a una latitud de 10°49' y longitud 77°51' de Greenwich.

Limita por el Norte, con la carretera Panamericana; por el Sur, con la fábrica de papel Sociedad Paramonga; por el Este, con la avenida ferrocarril y por el Oeste, con el Océano Pacífico.

Cuenta con una población de 13,654 habitantes y 1844 trabajadores (según el censo de 1978).

Actualmente tiene una capacidad media de 2,500 T.C.D. de molienda con 16 % fibra en caña.

El clima de este valle es cálido, con una temperatura poco variable entre los meses de verano a invierno. En verano oscila una temperatura de 23 a 28 °C, y en invierno entre 16 a 22 °C. Las lluvias en el valle son regulares, dependiendo del factor estación - tiempo.

La Cooperativa Paramonga, se irriga fundamentalmente del agua proveniente del río Fertilona y del río Pativilca. Los volúmenes de agua descargados por el río y el agua captada por la Cooperativa, guardan relación directa en los rendimientos de TM/Ha de caña cortada; que de terminan desde luego la capacidad de molienda de la batería.

CUADRO N° 2.01 ESTADISTICA AZUCARERA DEL PERU AÑO DE 1955 - 1984

AÑOS	ARHA	ARHA	CAÑA	AZUCAR COMERCIAL
	CULTIVADA	COSECHADA	MOLIDA	PRODUCIDA
	Has	Has	Tons	Tons
1955	56,923	35,898	6'097,566	651,547
1956	61,547	37,767	5'876,384	688,568
1957	62,082	39,353	6'077,792	676,875
1958	61,751	39,492	6'840,208	688,388
1959	66,749	41,367	6'543,824	705,326
1960	66,868	47,361	7'359,171	806,141
1961	69,382	47,075	7'288,136	798,539
1962	73,892	46,830	7'247,077	764,890
1963	72,735	50,197	7'439,140	808,122
1964	76,290	48,897	7'379,812	765,818
1965	82,943	45,980	7'428,351	761,979
1966	83,319	50,128	7'855,347	825,105
1967	82,696	45,867	7'372,769	731,171
1968	75,230	52,196	7'226,050	752,132
1969	76,533	44,201	6'213,536	632,810
1970	78,864	48,212	7'530,949	770,764
1971	83,575	47,742	8'291,356	882,496
1972	83,595	48,716	8'582,468	898,702
1973	85,736	50,857	8'746,119	897,322
1974	89,831	54,339	9'179,335	992,464 1/
1975	91,475	55,067	8'927,715	963,657
1976	92,885	54,767	8'761,132	929,650
1977	93,896	55,599	8'825,079	900,350 2/
1978	92,871	53,771	7'970,194	856,472
1979	91,551	53,906	7'034,212	695,434
1980	89,023	49,137	5'598,087	537,375
1981	88,878	38,529	5'125,864	478,112
1982	80,788	46,333	6'533,384	613,273
1983	78,353	45,366	6'462,135	445,925
1984	76,998	52,977	6'952,500	685,264

1/. Año base de mayor volumen de azúcar comercial producida

2/. Año, a partir del cual se inicia la disminución del azúcar.

C A P I T U L O I I I

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.0. TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.- Debido a la relativa flexibilidad de distribución que permite la estructura del mercado azucarero doméstico y dada la alternativa seleccionada al incremento de capacidad de molienda en función de la producción de azúcar para el abastecimiento del consumo interno, se plantea :

Capacidad de Molienda .-	5,000 TCD (Tons. caña por día), toda la vida útil.
Ubicación .-	Ingenio Azucarero "PARAMONGA LTDA Nº 37", Dpto. de Lima-Distrito Paramonga.

3.0.1. EFICIENCIAS.- Para el programa de producción de azúcar previsto, se ha asumido como promedio, una extracción de 93 % de eficiencia, con una humedad de 50 % de bagazo (Normas Itintec), y con una imbibición compuesta de 200 % sobre fibra.

3.1. PROCESO INDUSTRIAL

3.1.1. CONSIDERACIONES BASICAS GENERALES.- Dada las dimensiones de la Planta de 5,000 TCD se ha previsto 275 días de molienda por año y 22 horas efectivas de trabajo considerado por día.

El dimensionamiento del equipo se calculará en razón de 210 TCH (Toneladas caña hora) para la Planta.

La refinería procesará 143,000 TM de azúcar cruda, lo cual significa una prod. de 520 TM de azúcar refinada por día y operará durante la molienda.

La fábrica actualmente procesa 71,500 TM de azúcar cruda, con una producción de 260 TM de azúcar refinada por día. Cuenta con 9 tolvas de almacenamiento de azúcar refinada, con una capacidad por cada tolva de 400 bolsas por hora; durante las siete horas se embolsan 2800 bolsas de 50 Kg por cada bolsa; produciendo durante el día 58,800 bolsas, equivalente a 294.000 TM de azúcar embolsado; esto es que para el proyecto, la disposición de equipos y el tamaño de la Planta tienen características amplias de manera que cubren las necesidades de expansión futura.

Los datos respecto a la calidad de la caña que se espera, esto es : La pureza del jugo, el contenido de sacarosa , fibra en caña, sólidos totales,..etc., se han tomado en base a cifras estadísticas obtenidas por la misma cooperativa que está operando (Cuadro 3.1).

De esta manera para el presente proyecto se utilizará las cifras correspondientes promedios en vigencia.

La fábrica de azúcar trabajará 7 días a la semana, 22 horas efectivas en forma continuada.

Las interrupciones de operación estarán determinadas por el tiempo necesario para efectuar la limpieza, cambio de accesorios del molino, ó paradas del trapiche por algún desperfecto momentáneo de los equipos componentes de molienda de caña y los días feriados considerados en la actualidad.

CUADRO N° 3.1 : PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE CAÑA

"CAP PARAMONGA LTDA N° 37"

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Edad caña molida (meses)	18.4	19.1	17.8	18.5	17.9	18.8	19.0	19
Caña molida total	686,212	710,453	704,054	714,949	661,969	690,081	651,347	644,042
Area cosechada total (Has.)	173.7	162.1	158.4	162.1	153.2	157.6	143.6	159
Días de molienda	286	280	280.3	273.3	266.3	266	264	264
Toneladas caña molida día	2,403	2,534	2,518	2,619	2,492	2,598	2,467	2,436
TM/Ha cosechada total	173.7	162.1	158.4	162.1	153.2	157.6	143.6	159
Sacarosa(pol) % de caña	11.9	12.1	11.9	11.8	11.8	12.6	12.1	12
Fibra % caña	15.5	14.8	15.2	15.4	15.2	15.6	16.0	16
Bagazo % de caña	34.6	33.2	33.7	33.9	33.5	33.6	34.2	35
Sacarosa en bagazo %	2.5	2.4	2.6	2.3	2.1	2.3	2.2	2
Humedad en bagazo %	51.6	51.9	51.5	51.0	51.3	50.5	50.4	51
Extracción sacarosa % sacarosa en caña	93.0	93.7	92.7	93.4	93.8	93.7	93.6	93
Tons. de miel final de 85° Brfx	28,407	27,934	30,068	29,956	25,740	27,063	26,820	28,343
Miel final de 85° Brfx % caña	4.1	3.9	4.2	4.2	3.8	3.9	4.1	4
Pureza	80.4	81.4	78.9	77.9	79.7	81.4	81.2	80
Total Azúcar Comercial (Ton.)	66,614	70,528	67,808	69,016	64,852	72,009	64,328	63,261

INDUSTRIA AZUCARERA PERUANA

Ubicación Geográfica de las Cooperativas Azucareras



COOPERATIVA AZUCARERA "PARAMONGA"

UBICACION: Provincia de Chancay, Depto. de Lima, Distrito de Pga.

PROYECTO: Capacidad de Molienda 5000 T.C.D.

3.1.2. DISPOSICION DE LA PLANTA.- Una de las características notables de una Industria Azucarera es la de ser una fábrica dinámica y susceptible de evolucionar y transformarse rápidamente.

Esta facultad lo debe a su carácter intermitente; la fábrica trabaja por lo general de 8 a 9 meses al año y tiene el resto del tiempo para efectuar toda las modificaciones necesarias, como la reparación y el mantenimiento de la molienda. Esta ventaja no debe perderse de vista y cuando se diseñe una fábrica de azúcar no se le debe considerar como estática sino como un organismo vivo capaz de desarrollarse lenta o bruscamente en una de sus partes o en todas; y debe concebirse su instalación de tal manera que facilite su desarrollo.

Se debe tener en cuenta de todo lo expuesto los siguientes conceptos:

- 1.- En general, realizar las instalaciones amplias de tal modo que queden áreas suficientes para la circulación alrededor de la maquinaria; buscando siempre una economía en el espacio.
- 2.- Dejar un espacio para posibles expansiones futuras.
- 3.- La casa de calderos no debe limitarse por un edificio vecino y debe poder alargarse considerablemente. El tandén de molinos igualmente no debe limitarse por otros aparatos; como también los evaporadores que en el futuro se puede agrandarse tanto en la cabeza como en la cola y en los lados; e igual forma los tachos.
- 4.- La libertad y el espacio deben buscarse no solamente en Planta, sino también en altura.
- 5.- Por la simplicidad y la economía de la instalación los Departamentos interdependientes deben estar ubicadas cerca uno de otros:

- Los molinos y los calderos deben estar en trayecto en línea recta para el conductor de bagazo del último molino para luego ser distribuido en los hornos.
- Los molinos y la Clarificación por los tubos de jugo.
- Las calderas y la central eléctrica por las tuberías de alta presión.
- La central eléctrica y los taches por las tuberías de vapor de escape.

6.- Algunos Departamentos no deben estar en el interior de la fábrica sino en la periferia, como:

- Los molinos, por la alimentación de caña.
- Los calderos, por la extracción de las cenizas y el excedente de bagazo.
- Los filtros, por el desplazamiento de la caahana.
- Los taches de vacío, por la extracción de agua caliente o por el retorno de agua fría.
- Las centrífugas, por la alimentación y despacho de azúcar.

Si, estas ideas no se toman en cuenta en la concepción de amplitud y altura se pueden dañar el proyecto; y si ya está instalado existirá dificultades para las próximas expansiones futuras de la fábrica.

Razón por el cual, una planta azucarera debe ser susceptible, capaz de transformarse en una o en toda sus partes.

3.1.3. DISTRIBUCION DE PLANTA.- El requerimiento de planta guarda relación directa con la determinación de áreas y se dividen en sub-áreas :

1). Recepción y preparación de cañas: Funcionan los volteadores de caña, grúa tipo hilo, el conductor pulmón e mesa receptora de caña, tina de lavado, conductores auxiliares, nivelador de caña, cuchillas cañeras, desfibradora (sí existe), desmenuzadora (sí existe), esparcidor de caña y separador magnético.

Area : 10,500 M²

2). Molienda: Constituido por una batería de 5 molinos de 3 mazas cada uno, y una estructura pesada capaz de soportar 45 tons. de una grúa puente.

Area : 4,000 M²

3). Elaboración de Azúcar: Funcionan 6 intercambiadores de calor, tanque Clarificador, los Tachos, Centrifugadoras, Secadores, ...etc.

Area : 15,000 M²

4). Almacén de Azúcar en bolsas:

Area : 13,500 M²

5). Silo : Constituido por 9 tolvas de almacenamiento de azúcar.

Area : 1,000 M²

6). Planta de Fuerza : Constituido por 5 calderos .

Area : 3,250 M²

7). Almacén de bagazo :

Area : 2,000 M²

8). Taller de Mantenimiento:

Area : 25,000 M²

9). Oficinas y Laboratorio :

Area : 1,950 M²

10). Casas para residentes :

Area : 50,000 M²

11). Pistas de tránsito :

Area : 28,750 M²

12). Areas libres.

Area : 150,000 M²

TOTAL : 294,450 M²

3.1.4. REQUERIMIENTO DE MATERIA PRIMA.- Para la molida de 5,000 toneladas caña día de capacidad, instalado en una batería de cinco molinos de 3 manas cada uno; seguirá trabajando el Ingenio con la materia prima existente.

Por consiguiente, se empleará la variedad de caña siguiente:

LAR 52 - 816

POJ — 2878

H POG - 12745

H 32 - 8560	H : Hawaii
H 32 - 2860	H : Hawaii
H 37 - 1933	H : Hawaii
H 44 - 3098	H : Hawaii
H 50 - 7289	H : Hawaii
H 50 - 2036	H : Hawaii
H 54 - 2508	H : Hawaii
H 57 - 5174	H : Hawaii
P 57 - 0586	P : Perú, Anál Casa Grande
P 64 - 3006	P : Perú, Anál Casa Grande
Co - - 419	Co : India, Coimbatore
CH 32 - - -	CH : Cuba Hybrid, híbridos - cruce
CH 37 - - -	CH : Cruce de híbridos - Cuba
P 42 - 745	P : Perú, Casa Grande

POJ : Proefstatién east Java (logrados en la estación experimental del este de Java).

LAR : Perú, Central Laredo

H - POG: Perú, corresponden a híbridos de cruces efectuados en Casa Grande.

PR : Puerto Rico.

La variedad de caña CH - 32, ocupa actualmente en nuestro medio una extensión de 68.6 % y el resto corresponde a otras variedades.

PARAMETROS.

Para el presente proyecto se ha considerado los siguientes parámetros
(Cuadro N° 3.01) :

Capacidad de Molinenda	5,000 T.C.D.
Caña	210 T.C.H.
Fibra % caña	16
Sacarosa (Pol) % caña	12.5
Extracción Sacarosa % caña	95.0
Bagazo % caña	35.0
Sacarosa en bagazo %	2.4
Humedad en bagazo %	50.0
Extracción de jugo mezclado %	98.0
Brix del jugo mezclado %	14.5
Brix del jugo clarificado %	14.2
Pureza del jugo clarificado %	82.0
Toneladas de jugo clarificado	3,800 T.P.D.
Sólidos totales	697 T.P.D.
Sacarosa en jugo clarificado %	11.45
Azúcar 96° H. y N. % caña	10.5
Sacarosa total (Azúcar comercial)	520 T.P.D.
Inbibición compuesta % sobre fibra	200 TA/TF
Miel final (Melaza % caña)	4



3.4.5. REQUERIMIENTO DE ENERGIA TERMICA DISPONIBLE.

A.- ENERGIA TERMICA EXISTENTE.

Capacidad de molienda de caña. : 110 T.C.H.

Bagase disponible 16 % fibra. : 72,765 Lb/Hr.

Poder calorífico del bagase a 50 %
de humedad. : 4050 BTU/Lb.

Eficiencia del caldero con bagase : 60 %

Lb. de vapor generado/Lb. de bagase quemado. : 2.12

Calor necesario para producir vapor a 450 psig , 700 °F; con agua de alimentación a 250 °F. : 1,142 BTU/Lb.

Calor transmitido al vapor BTU/Lb de bagase. : 2,430

Estimado del vapor utilizado en la planta, 50 a 60 % sobre caña.

133,403 Lb-vapor/Hr.

Otros usos. 30,000 Lb-vapor/Hr.

TOTAL: 133,403 + 30,000 = 163,403 Lb-vapor/Hr.

CASA DE FUERZA.

3 calderos de 150,000 Lb/Hr. (de 450 psig, 700 °F de temp. total).

1 caldero de 140,000 Lb/Hr.

1 caldero de 240,000 Lb/Hr.

Energía Total Disponible:

830,000 Lb-vapor/Hr.

B.- ENERGIA TERMICA REQUERIDA (BALANCE TERMICO).

Capacidad de molienda de caña. : 210 T.C.H.
Bagazo disponible 16 % fibra. : 138,915 Lb/Hr.
Poder calorífico del bagazo a 50 %
de humedad. : 4050 BTU/Lb.
Eficiencia del caldero con bagazo. : 60 %
Lb. de vapor generado/Lb. de bagazo
quemado. : 2.12
Calor necesario para producir vapor
a 450 psig , 700 °F; con agua de a- : 1,142 BTU/Hr.
limentación a 250 °F. :
Calor transmitido al vapor BTU/Lb
de bagazo. : 2,430

Estimado total del vapor necesario, 50 a 60 % sobre caña.

$210 \times 0.55 = 115.5 \text{ Ton/Hr.} = 254,678 \text{ Lb - vapor/Hr.}$

Un 15 %, para otros usos = $1.15(254,678) = 292,879.7 \text{ Lb/Hr.}$

Total Requerido de energía. : 292,879 Lb - vapor/Hr.

CONSUMO DE ENERGIA EN LAS TURBINAS.

Turbina N° 1 : 800 HP x 33 Lb/HP - Hr = 26,400 Lb-vapor/Hr.
Turbina N° 2 : 26,400 Lb - vapor/Hr.
Turbina N° 3 : 26,400 Lb - vapor/Hr.
Turbina N° 4 : 26,400 Lb - vapor/Hr.
Turbina N° 5 : 26,400 Lb - vapor/Hr.

Consumo Total de Energía en las Turbinas.

$5 \times 26,400 \text{ Lb/Hr} = 132,000 \text{ Lb-vapor/Hr.}$

CONSUMO DEL VAPOR EN LOS MACHINES (JUNGO DE CUCHILLAS).

Turbina que mueve el 1er. machete : 850 HP x 33 Lb/HP-Hr

25,500 Lb-vapor/Hr.

Turbina que mueve el 2do. machete : 25,500 Lb-vapor/Hr.

TOTAL: 2 x 25,500 = 51,000 Lb-vapor/Hr.

Por lo expuesto necesitamos dos calderos de 150,000 Lb/Hr cada uno, de 450 psig y 700 °F de temperatura total.

Por consiguiente la planta de fuerza del Ingenio Paramonga, cubre las necesidades del proyecto por lo expuesto en el precedente.

3.1.6. REQUERIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS.- La planta de molinada del Ingenio Azucarero "Paramonga", seguirá operando con maquinaria y equipos existentes, a excepción del trapiche y de 1 juego de cuchillas, en equipos de preparación de caña.

A.- DESCARGA Y MOLINADA.

1 balanza para pesar caña.	75 ton. de capacidad.
2 volteadores de caña.	de 30 ton. de capacidad.
2 juegos de cuchillas.	accionados por turbinas a vapor de 850 HP y 5000 rpm.
1 batería de 5 molinos.	de 40" x 78", accionado por turbinas a vapor independientes de 800 HP c/u. con reductor acorde para 3 a 7 rpm.

En el proyecto se considera parte del trapiche o batería de 5 molinos este es, la instalación de un molino de 3 masas de 40" x 78" c/u.

3.1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL.- El proceso de recepción de caña, preparación y molienda se realiza:

- a) PESADO DE CAÑA.- La caña es pesada en una balanza de plataforma de 75 tons. de capacidad y con impresión automática.
- b) DESCARGA DE CAÑA.- La cosecha de caña es mecanizado en un 70 % y 30 % manual por razones de caña limpia. La caña que viene a la fábrica es sucia (corte mecanizado) y requiere un tratamiento de lavado.

El sistema de descarga utilizado es mediante volteadores mecánicos e hidráulicos ; actualmente se usa grúa tipo hilo de 35 tons. de capacidad.

Como la molienda prevista para nuestro cálculo es de 210 TCH , el tiempo de descarga por camión es de 5.5 minutos aproximadamente y los camiones de transporte de caña son de 30 tons. de capacidad.

- c) CONDUCTOR DE CAÑA.- El conductor de caña sirve para transportar la caña del patio a los molinos pasando por los machetes.

La recepción de caña al inicio es concebido por el conductor principal o "Pulmón Alimentador de la Planta de Molienda" de acuerdo a la carga de molienda. La superficie de la mesa de alimentación será de : $A = 0.6 C = 0.6 \times 210 = 126 \text{ m}^2 = 10.5 \times 12$; donde C = capacidad en TCH, y con una potencia de 150 HP = 112 Kw.

La velocidad tiene que ser mucho menor que el conductor siguiente siendo razonable 3 m/min , si la velocidad del pulmón de alimentación es alta se corre el riesgo de permitir la caída de cantidades de caña mayores que la necesaria.

Los conductores auxiliares están instalados después de la mesa de alimentación con la misma capacidad. El ancho de estos conductores es siempre igual al largo de las mazas ($6.5' = 78'' = 1981\text{mm}$), la velocidad estará relacionada siempre de acuerdo a la velocidad periférica de los molinos; en este caso para el proyecto es de 111 m/min y 2 metros de altura del conductor.

La potencia absorbida por el conductor auxiliar es de 17 HP (12.7Kw).

d) PREPARACION DE CAÑA.- Para la molienda prevista se ha considerado trabajar con dos juegos de machetes o cuchillas cañeras.

La potencia normal promedio es de 2 HP/TCH o bien expresados la potencia un promedio de 30 HP/TFH.

La tina de lavado es un elemento de preparación de caña y está instalado antes de los machetes, con la finalidad de sacar lodos, piedras y algunos elementos extraños que arrastra la caña, para luego llegar sin suciedad hacia los molinos.

e) MOLIENDA DE CAÑA.- La caña va ser molida en un tandém formado por unidades de mazas, cada una de $40'' \times 78''$, accionadas por turbinas 800 HP cada uno.

Los molinos deberán fijarse sobre una viga de acero de acuerdo al diseño para soportar grandes cargas.

La extracción estimada es de 93 % con una humedad de bagazo de 50 % y con una imbibición compuesta de 200 % sobre fibra.

El sistema hidráulico utilizado será el de Edwards en honor a su

inventor, que es bueno y confiable.

La velocidad de los molinos fluctúan entre 3.5 a 7 rev/min y la variación de los rpm, es función directa con la carga.

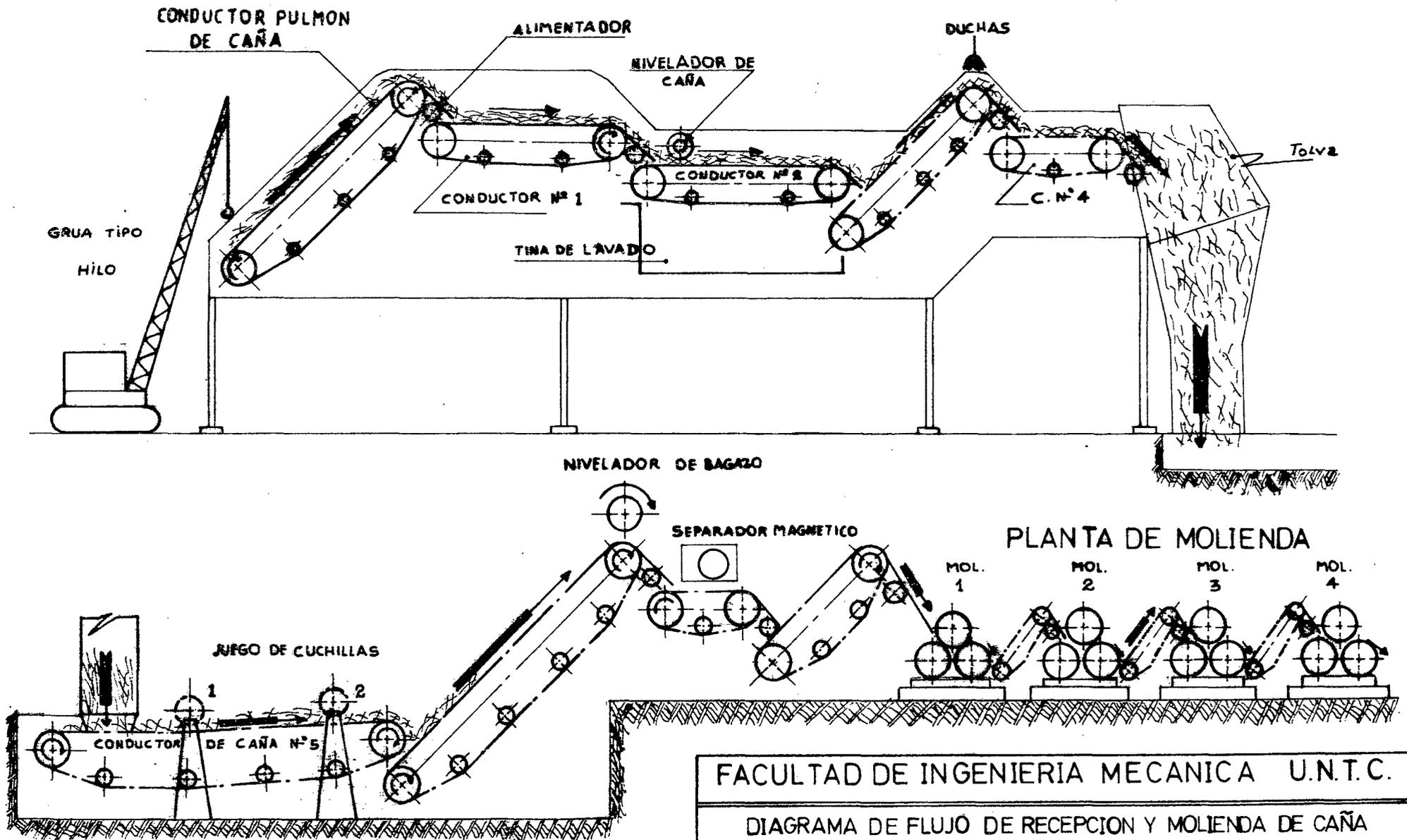
Los molinos tendrán alimentador forzado inferior, y los conductores intermedios entre molinos serán de planchas metálicas en forma de cajón de fácil operación para la reparación y mantenimiento.

f) PESADO DE JUGO.- El jugo proveniente del trapiche es conducido hasta la balanza automática, donde se realiza el control de peso del jugo.

Este aparato aparte de controlar el peso , sirve para sacar muestras y encalar el jugo sin intervención.

El peso del jugo es importante para determinar la cantidad de azúcar elaborado.

En el flow sheet siguiente se puede apreciar el proceso industrial de la molienda de caña, desde la entrada hasta la salida del bagazo.



FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA U.N.T.C.

DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCION Y MOLIENDA DE CAÑA

Proyecto - Diseño, Asiste y Operación de una Batería de Molinos de Virgen Inclineda

FABRICA: Cooperativa Azucarera "PARAMONGA"

3.1.8. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DIVERSOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN

DE CAÑA.-Toda las industrias azucareras de acuerdo a las necesidades de la planta han logrado mejorar la tecnología de los equipos de preparación de caña, buscando la economía y el espacio a instalar.

Los equipos componentes de preparación de caña en orden cronológico son los siguientes:

1) NIVELADOR DE CAÑA.- Este componente trabaja antes de entrar al juego de cuchillas o machetes cañeras, para nivelar el colchón de caña, ofreciendo una distribución uniforme al conductor de caña.

Consiste en un eje colocado transversalmente al conductor en el cual van brazos curvos de tal modo que gira en sentido contrario al movimiento del conductor, permitiendo el regreso de caña para luego empujar con el giro los pedazos de caña al conductor.

La velocidad del nivelador es de 45 rev/min.

El ajuste debe ser cuidadoso, de tal modo que el eje debe estar colocado conservando la distancia entre los extremos de los brazos y las tablillas metálicas, a una altura de 50 cm .

La potencia del motor será de 45 HP (33.67 Kw).

2) CUCHILLAS CAÑERAS O MACHETES.- Los machetes son de gran utilidad porque ofrece menor costo de instalación que otros, por el incremento en la capacidad de la batería y por la mejora del rendimiento de los molinos.

Este elemento sirve para cortar la caña en pedazos, transformando y desintegrando en una masa compacta y homogénea facilitando una buena alimentación a la desmenuzadora, o al molino y la extracción del jugo.

Las cuchillas influyen en la capacidad de los molinos con un incremento promedio de 10 a 25 %.

Su instalación desde el punto de vista económico es mucho menor que instalar un molino más en el tandén en un 15 % de su costo.

El sistema de mando de las cuchillas se puede realizar por un motor eléctrico, por un motor de vapor, o mediante una turbina de vapor. El costo es elevado, pero es factible cuando la planta de moler tiene más de 150 TCH de capacidad.

La velocidad de rotación de las cuchillas fluctúan entre 900 a 4000 rev/min.

El ajuste de las cuchillas debe ser de 2.54 a 3 cm como promedio, medido desde la punta de la cuchilla hasta la tablilla metálica de acero. No es conveniente bajar a las cuchillas hasta una posición muy próximo al conductor, por el contrario sí, se puede subir la altura, de acuerdo a la carga de TCH trabajada.

Por consiguiente para el proyecto se ha considerado lo siguiente :

La instalación de 2 juegos de cuchillas; el primer juego de cuchillas trabajará a 12" (30.48 cm) de luz, entre la punta de cuchilla y el conductor y su instalación es económico a diferencia de un molino de 15 % más grande y sin cuchillas, tanto en el consumo de vapor

total y en el precio del azúcar.

El segundo juego de cuchillas trabajará a una 1" (2.54 cm) de luz, desintegrando en forma de aserrín la caña, lo que el primer juego no pudo cortar en pedazos más pequeños.

Es recomendable usar el segundo juego de cuchillas cuando la batería de molinos es corta; vale decir de 15 cilindros por abajo, y cuando no se puede llegar a un ajuste suficientemente bajo en el primer juego y éste deja escapar cañas no cortadas (Marwell, Pág. 127 - 1967).

Otros autores opinan, de que se puede instalar el segundo juego de cuchillas en cualquier batería, siempre y cuando que la TCH de molinera esté sobrecargada.

La velocidad de giro del primer juego es lento, alrededor de 1,000 rev/min, y dotado de $3/4$ partes del número de hojas del segundo; mientras tanto que el segundo juego debe girar a 2,800 rpm, y con una altura de $1/15$ del colchón de caña.

Por consiguiente la potencia consumida por las cuchillas no se pierde enteramente, pues se recupera en parte en los molinos; habiéndose roto la corteza y los nudos completamente la compresión de la caña se hace más fácil.

Cabe destacar también que cuando se instalan 2 juegos de cuchillas, ya no es necesario instalar una desmenzadora, pues éste ya no puede desmenzarse más lo que la cuchilla efectuó la operación de desintegrar la caña en pedacitos.

- 3) SEPARADORES MAGNETICOS.- Con precisión no se conocen cuántos pedzos de hierro y fundición pasan por un molino durante la zafra. Estos aparatos se instalan antes de la desmenuzadora (sí, existe) o bién antes de los molinos, con la finalidad de atrapar trozos de acero o piezas de fundición que son los más dañinos para las mazas.

Su objetivo es la de mantener en un buen estado a los molinos, evitando el desgaste premature que ocasionaría a los cilindros.

El separador magnético es un electroimán instalado en todo el ancho del conductor que va a la batería de molinos.

El electroimán atrae y retiene los pedazos de metal que pasan por su campo magnético.

- 4) CUCHILLA ESPARCIDORA DEL COLCHON DE CAÑA.- Este elemento se instala después del separador magnético, con la finalidad de hacer llegar más rápido la caña al tandém de molinos, sin producir atascamientos en la alimentación.

La velocidad de rotación es mucho mayor que la del conductor en un 20 %; esto es, de 4.5 rpm (143.5 m/min).

- 5) DESMENUZADORA.- Primera máquina con presión entre sus cilindros que encuentra la caña al llegar al trapiche .

El trabajo que desempeña es la de despedazar, desfibrar y desmenuzar la caña facilitando la alimentación de los molinos y sobre todo en el rendimiento de la batería, sobre un material ya triturado y en forma de bagazo.

La desmenuzadora ordinaria está constituida por dos cilindros, y se clasifican en dos grandes tipos:

a) Desmenuzadora Tipo Krajeski; constituida por cierto número de aristas a lo largo del cilindro en forma de zig-zag longitudinal - mente separadas por una ranura profunda en arco de círculo.

Las aristas de uno de los cilindros engranan con las ranuras del otro, produciendo sobre las cañas un efecto de seccionamiento.

Llevan a lo largo de los cilindros 5, 6 ó 7 chevrones completos, cada uno con aberturas de 20 a 30 cm. El ángulo en la punta es de 90° .

b) Desmenuzadora Tipo Fulton; constituido por una superficie de revolución obtenida mediante un giro al rededor de un eje en forma de V, que origina una línea dentada con ranuras circulares.

Para asir bien la caña se tallan chevrones helicoidales que forman muescas en el cruce de las ranuras verticales con las helicoidales.

El perfil de estas muescas se diseñan con la finalidad de atrapar fácilmente a la caña, y las ranuras Fulton tienden a taponarse, para ello se instala los raspadores en los dos cilindros.

La velocidad de una desmenuzadora es mayor al de los molinos de 25 a 50 %, debido a que tiene que trabajar con un material menos compacto y más resbaloso .

Generalmente la velocidad de una desmenuzadora no debe ser mayor que en un 30 % de la velocidad de los molinos.

Por consiguiente la desmenuzadora sirve para asegurar la alimentación

de toda la batería, preparando la caña para la toma de los molinos y la extracción en ellos; por poseer una superficie de tal modo que puede desmenuzar la caña y por tener una velocidad periférica superior a la de los molinos ya que el material que recibe, no estando todavía en forma de bagazo, es difícil de asir. Si tuviera la misma velocidad que los molinos estaría en desventaja para proporcionarles la cantidad de material que pueden absorber.

La potencia consumida por una desmenuzadora ordinaria es de alrededor del 75 % de la consumida por un molino de las mismas dimensiones en los cilindros, con la misma velocidad (30 % superior a aquella) y con la misma presión hidráulica total; esto es:

La potencia consumida por la desmenuzadora, con una presión hidráulica igual al 70 % de la de los molinos será: $0.75 \times 0.70 \times 1.3 = 2/3$, de potencia media consumida por cada uno de los molinos siguientes.

Algunas fábricas como en Cuba utilizan doble desmenuzadora, inclusive hasta 3 desmenuzadoras en serie. Pero de acuerdo a la experiencia instalada doble desmenuzadora pensando en el incremento de la capacidad y en la extracción, es negativo; en su lugar es factible instalar un juego de cuchillas porque favorece el incremento de capacidad, o bien con un esfuerzo financiero suplementario en el costo del 25 al 40 % más fuerte se podría instalar un molino más a la batería y el efecto de éste sobre la capacidad y la extracción sería considerablemente superior.

La desmenuzadora Krajenski se utiliza para cañas enteras longitudinalmente y la Fulton para cañas enteras mezoladas. En consecuencia cuando existe un juego de cuchillas es inútil instalar una Krajenski.

Con respecto a la presión hidráulica de la desmenuzadora de 2 cilindros es suficiente señalar que generalmente reciben una presión hidráulica total entre el 50 y el 75 % de la presión aplicada a los molinos.

No es conveniente olvidar que la desmenuzadora es un órgano de alimentación y de preparación, y no de extracción exclusivamente. Esto es, que si el molino trabaja sin sobrecarga y la desmenuzadora toma fácilmente la caña, no existe ningún inconveniente en aumentar la presión; de esta manera aumentarán la preparación de la caña y la extracción. Si por el contrario el molino trabaja a su máxima capacidad y la desmenuzadora no toma bien la caña necesaria, entonces se llevará la presión hidráulica al 50 % de la presión de los molinos.

La presión hidráulica específica (P.H.E.) de una desmenuzadora está entre 8 a 12 ton/dm². No existe ningún interés pasar de 15 ton/dm², porque en este caso la desmenuzadora no se levanta y toma la caña con dificultad sin mejorar la preparación de caña.

LA DESMENUZADORA DE 3 CILINDROS.- Es semejante a un molino de la batería, denominado también como "molino desmenuzador" que va colocado a la cabeza del primer molino de la batería y está diseñado para realizar el trabajo de una desmenuzadora y un molino más.

Tiene una velocidad superior a la del primer molino que le sigue.

Lleva el ranurado tipo Fulton con chevrones, cuchilla central y raspadores igual que los molinos.

Su costo de instalación es relativamente flexible, no necesita gran altura como la desmenuzadora ordinaria y se instalan al mismo nivel

al de los molinos de la batería.

Ocupa menor espacio y menor longitud para el conductor de caña, a diferencia que el conductor en una desmenuzadora ordinaria, debe sobrepasar con una inclinación de 30 a 36 % los 2 ó 3 m. de sobre elevación.

La extracción obtenida en una desmenuzadora de 3 cilindros es notablemente superior, como podemos apreciar en la Tabla 1 .

TABLA 1. EXTRACCION DE DIVERSOS TIPOS DE DESMENUZADORA

DESMENUZADORA	EXTRACCION DE JUGO
Desmenuzadora Krajenski (2 mazas)	40 - 50 %
Desmenuzadora Fulton (2 mazas)	45 - 55 %
Doble desmenuzadora (4 mazas)	60 - 70 %
Molino desmenuzador (3 mazas)	60 - 85 %

Las cifras están dadas con un amplio margen, dependiendo del factor fibra % caña.

6) LA DESFIBRADORA.- La desfibradora es un aparato que sirve para completar la preparación y la desintegración de la caña, y facilitar así la extracción del jugo.

La desfibradora se instalan después de la desmenuzadora ordinaria.

La instalación de una desfibradora entre una desmenuzadora de 3 cilindros y el siguiente molino es negativo, porque es antiestético y dificulta el control de la vigilancia.

Entre la desmenuzadora ordinaria y el primer molino es la solución adoptada en Hawaii, sin cuchillas o con cuchillas, porque es más eficiente, consume menos fuerza y su alimentación es más continua y constante.

La desfibradora se clasifica en :

a) Desfibradora de discos; constituido por la yuxtaposición de varios discos tronco-cónicos, unidas por la base mayor a 45° de abertura. El disco superior gira entre 1500 a 2000 rpm y el inferior debe girar entre 3000 a 5500 rpm, para facilitar la desintegra - ción de caña. No justificó por mucho tiempo su utilización.

b) Desfibradora de martillos; constituido por una trituradora de martillos, colocada dentro de una tolva metálica y se clasifi - can en :

- Triturador Searby, colocado entre la desmenuzadora y el primer molino; que surte efecto en la alimentación más continuada y constante. Consume menos fuerza; pero sin embargo instalado así obra indirectamente en la capacidad de la desmenuzadora.

Su utilización, es principalmente en Hawaii.

- Desfibrador Gruendler, colocado a la cabeza de la batería de molinos, necesitando mayor fuerza para romper la corteza y los nudos de caña.

Dificulta la conservación en la limpieza de la máquina, debido a que se produce salpicones de jugo.

c) Desintegrador Morgan, aparato de reciente diseño que se encuentra instalado en Cuba y Puerto Rico; debe instalarse después de las cuchillas cañeras y los molinos. Instalado así, ya no es necesario instalar una desmenuzadora.

La velocidad de rotación fluctúan entre 3000 a 6000 rpm.

Su instalación exige 100 % de eficacia en la eliminación de pedazos de hierro u otros objetos extraños, lo cual es imposible de conseguir, y por lo tanto su aplicación es limitada.

d) Desfibrador Maxwell; es un aparato con futuro con miras de extensión y está constituido por un cilindro de acero, de igual longitud al de los molinos; provistos de ranuras longitudinales en las cuales se insertan peines de 12 cm, de longitud.

Este aparato se encuentra instalado en Java y en la India.

Se puede instalar a la salida de una desmenuzadora, ya sea de 2 cilindros o molino desmenuzador.

Su costo de instalación es económico y la potencia consumida es ínfima, a pesar de que el incremento en capacidad y extracción es limitada; pero su instalación es justificable.

Los dientes Maxwell, peinan los pedazos de caña que salen de la desmenuzadora como una máquina escarmenadora, para facilitar la alimentación de los molinos.

Cuando los dientes están desgastados es suficiente invertir la desfibradora, ya que es enteramente simétrica para que el borde afilado trabaje, mientras el desgastado se afila.

La potencia media absorbida es al rededor de 0.5 HP/TCH y con una velocidad de rotación entre 450 a 600 rpm.

3.1.9. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE MOLIENDA.- Después de haber preparado la caña con los respectivos equipos ya mencionados, el material triturado en forma de aserrín llega al tandén de molinos; donde efectivamente se realiza la extracción del jugo, mediante la compresión de los molinos.

Existen dos grandes tipos de molinos:

- 1) Molino de Virgen recto (verticales)
- 2) Molino de Virgen inclinada; este tipo de molino, ofrecen mejor toma del colchón de bagazo a lo largo del tandén de molinos mediante la diferencia de presiones.

Los molinos están constituidos por un conjunto de mazas o cilindros denominados: Maza Cañera, Maza Bagacera, y la Maza Superior ó Mayor.

El escurrimiento del jugo se obtiene por la maza bagacera, la alimentación del colchón de bagazo con la maza cañera, y la presión hidraúlica total (P.H.T.) es aplicada sobre la maza superior.

Los molinos durante la molienda realizan 2 compresiones del colchón de bagazo: primero, entre la maza superior y la maza cañera; segundo, entre la maza superior y la maza bagacera.

Las mazas son cascos de hierro fundido macizos, salido de la fundición. Algunos, al conjunto casco y eje denominan "mazas".

Cabe destacar que la cantidad de jugo proporcionado por la maza bagacera en realidad es muy poco; más por el contrario en el cilindro de salida, es donde el bagazo sufre la presión máxima y en donde se extrae el jugo. Este jugo no tiene más que 2 salidas : hacia adelan-

te , y más alla de la cuchilla o hacia atras.

Las mazas están ranurados en forma circular,tallados de tal forma que describen círculos completos en un plano perpendicular al eje y distribuidos en la periferia. El ranurado de los 3 cilindros del molino se hace de manera que los dientes del cilindro superior engranen con las ranuras de los cilindros inferiores.

Alrededor del cilindro de entrada o maza cañera, se tallan canales o ranuras tipo "Messchaert" (circulares), con la finalidad de dar salida al jugo y poder escurrir sin obstáculo de uno y otro lado del cilindro.

Los Messchaerts no tienen más que un objeto : mejorar la extracción.

Los raspadores messchaerts,peines o dedos se instalan detras de los cilindros para limpiar las ranuras messchaerts;sin éstos dejarían de ser útiles.

Las ranuras messchaerts se hacen dejando todo los dientes y una ranura circular (Fig.1). La profundidad depende del débito de jugo y se toma como promedio entre 10 a 16 cm.

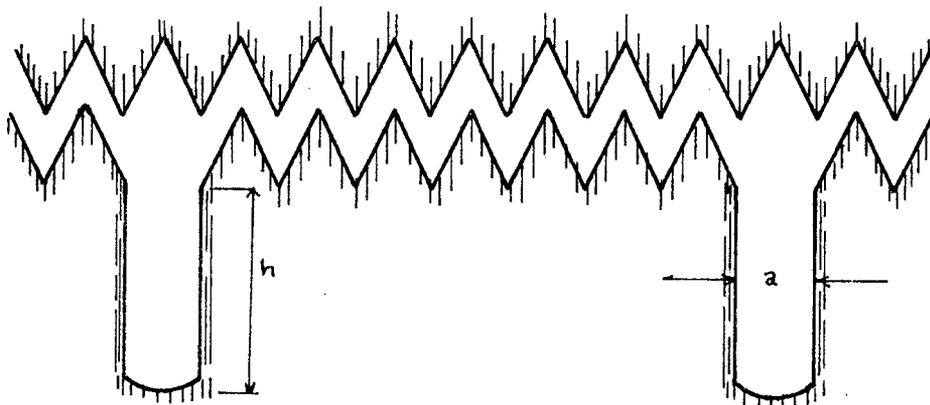


Fig.1 Ranurado del cilindro cañero tipo messchaerts, dejando un diente.

En los cilindros de salida o maza bagacera, las ranuras messchaerts no debe de exceder de 7 cm de profundidad; porque no es necesario por el poco débito de jugo y la presión es mucho más elevada que la del cilindro cañero. En este cilindro los raspadores se reemplazan por un juego de "jinetes", apoyados contra el peine de salida como se muestra en la fig.2 ; pero sin embargo tiene el inconveniente, de escapar fuera de su lugar cuando se hace girar al molino, cuando se atasca el moline en el trayecto de la molienda; y por otro lado limpian perfectamente la messchaert pero lo hacen antes de que el jugo haya podido escurrirse por ella obstaculizando su paso y quitando a messchaert su utilidad. Sin embargo en los últimos molinos es conveniente colocar por lo que sale muy poco de jugo de las messchaerts en el lado del cilindro de salida.

Los cilindros provistos de messchaerts sufren más daños por los pedazos de hierro que pasan por el molino y se desgastan facilmente; pero sin embargo rinden servicios considerables al cañero por 2 motivos :

- Mejoran la capacidad del molino disponiendo de una cantidad de jugo que de otra manera provocaría un atascamiento.
- Mejoran sobre todo la extracción, aumentando la proporción de jugo extraído por el cilindro de entrada, disminuyendo y facilitando el trabajo del cilindro de salida (Fig. 3).

La maza cañera y la maza superior llevan chevrenes, éstas son muescas tallados en los dientes y cuya sucesión describe una hélice del centro a una extremidad del cilindro; la otra mitad de él lleva una hélice simétrica de la primera con relación al plano medio del cilin -

dro. Tienen el mismo que las desmenuzadoras Fulton y la misma forma de muesca, dimensiones y su disposición (Fig. 4).

Los chevrones se utilizan realmente para la toma del bagazo por el cilindro, exclusivamente a la maza cañera, pero jamás en el de salida; porque no tendría sentido ya que el cilindro de salida es alimen- tado por la cuchilla central y la maza superior, y además no se comprimiría el bagazo.

La posibilidad de acufiarse el bagazo entre el chevron y la cuchilla central en la maza cañera, se eliminan sin dificultad gracias al ángulo de ataque de las dos superficies opuestas que produce un efecto de corte (Fig.4a).

Los accesorios del molino son los siguientes:

- Cuchilla central, apoyada sobre una bancada de hierro fundido y sirve de puente para el paso del colchón de bagazo.
- Alimentadores forzados, sirven para empujar el bagazo a la maza cañera para que no se produzca atascamiento en los molinos.
- La excéntrica, constituido por un brazo excéntrico que permite regular el ajuste de la cuchilla, ya sea, hacia arriba o abajo.
- Cabezote hidráulico, constituido por un cilindro pistón que permite el levantamiento de la maza superior, mediante el acumulador hidráulico.
- Los raspadores ó peines, juego de jinetes.
- Coronas o piñones de movimiento al eje superior, constiuido por 3 engranajes de iguales dimensiones del tipo envoluta de 17 dientes.
- Finalmente, tenemos los guardajugos, las chumaceras y la vírgen.

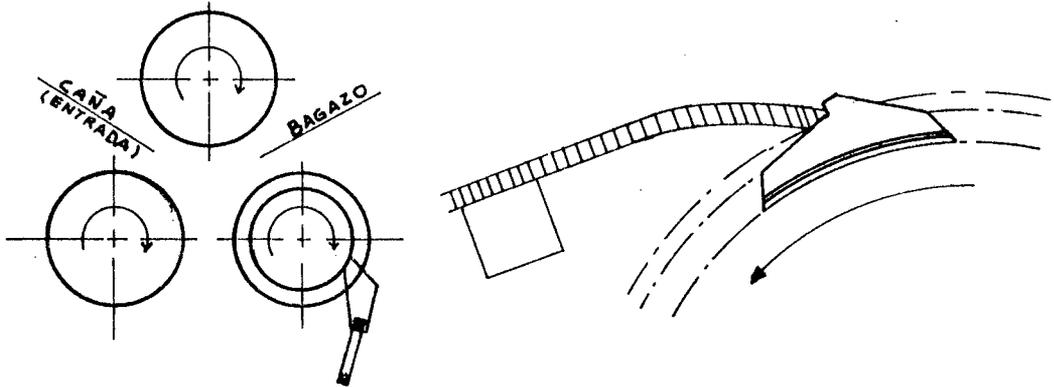


Fig. 2 Raspadores Messchaerts y jinetes en la maza bagacera

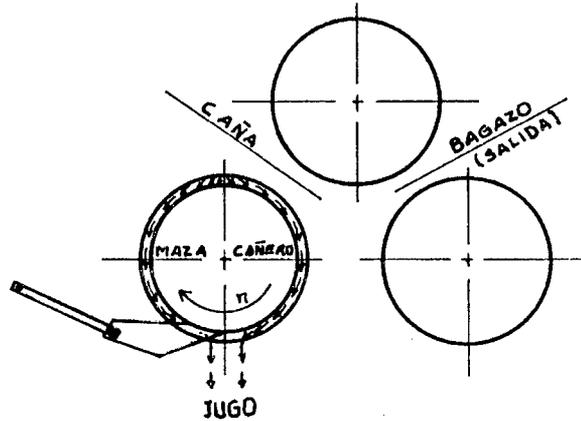


Fig. 3 Ranuras tipo Messchaerts, y la posición de los Raspadores en la maza cañera

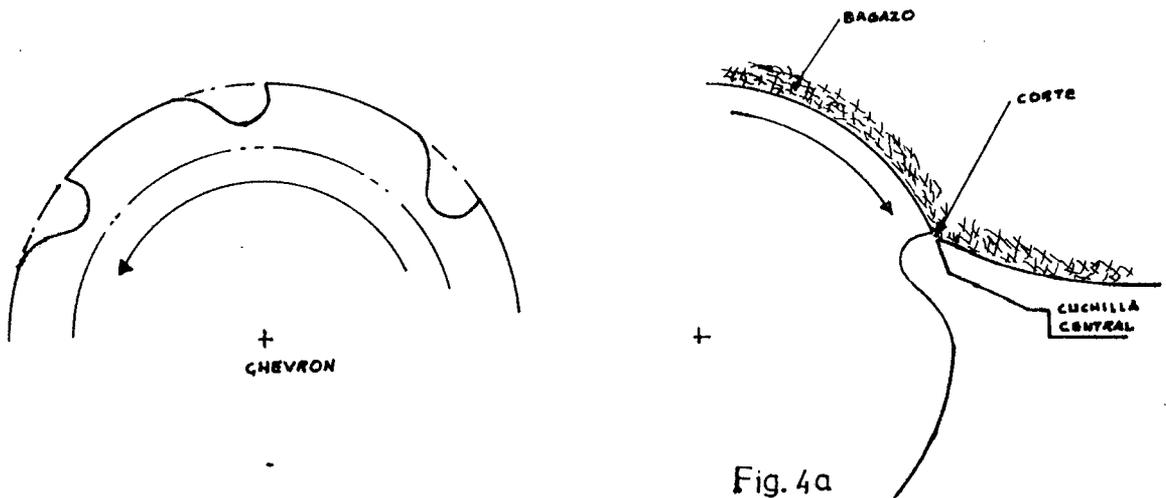


Fig. 4a

Fig. 4 Muecas de la Fulton (Chevrone)

Para que la molienda se lleve acabo eficazmente, el tandém de molinos debe trabajar siempre con una separación entre sus mazas. Dicha separación por supuesto no tiene una regla fija ya que depende sobre todo de la experiencia de trabajo dentro de la planta de moler.

La separación del primer molino siempre debe ser mucho mayor que los demás molinos que le sigue, esto es, que la abertura entre la maza cañera y la superior debe ser de 75 mm ; la distancia entre la bagacera y la superior de 57 mm y los demás siguientes un poco menor. En otras palabras vale decir : primer molino con aberturas grandes, el segundo molino con una abertura menor que el primero, el tercero menor que el segundo, y así sucesivamente hasta el último molino; a tedo esto se le denomina "ajuste o setting del molino" , que se detallará en el capítulo posterior .

La eficiencia de molienda en una batería de molinos está acompañada de una serie de factores, los más importantes son los siguientes:

A) LA PRESION DE LA BATERIA.- Expresado en términos de cantidad de jugo extraídos durante la molienda.

La presión hidráulica total (P.H.T.) es un factor importante para la extracción del jugo que surte efecto sobre la maza superior de los molinos.

La variación de la presión en un tandém es variable; se puede aplicar mayores presiones en los primeros molinos para conseguir mayor y mejor calidad de los jugos. Otros por el contrario prefieren en los últimos molinos, o sobre los segundos. El bagazo del último molino debe salir seco (sin jugo).

B) TRABAJO DE LA BATERIA.- Expresado en términos del tonelaje de caña molida dentro de una planta.

La capacidad de la batería depende de la fibra % caña, que a su vez éste difiere de acuerdo a la variedad de caña también. Esto es que si tenemos 16 % de fibra, la planta dispone 16 TFH (Tons. Fibra Hora) de molienda con un incremento de % de sacarosa.

Los molinos generalmente se construyen en base de la capacidad de TFH; dicha capacidad es variable de acuerdo a cada ingenio por circunstancias propias.

El trabajo de los molinos está influenciado también por el agua de imbibición y se considera el agua agregado entre 20 al 40 % sobre el colchón de bagazo.

Con 20 % de agua sobre el colchón de bagazo, es suficiente para la extracción de 93 % en los molinos.

C) LA MARCHA DEL TANDEM O BATERIA DE MOLINOS.- Antes de iniciar la marcha del tandém, es preciso hacer toda las verificaciones sobre las aberturas de entrada y salida de las mazas, el alineamiento y nivelación respectivo de las mazas; de ese modo se evitará el sobrecalentamiento que puede afectar a las chumaceras, el cual una vez iniciado es difícil de desaparecer.

D) VELOCIDAD DEL TANDEM DE MOLINOS.- La velocidad de los molinos están comprendidos entre 3.5 a 7 rev/min.

Durante la molienda la velocidad se puede variar mediante 2 formas : primero ir disminuyendo del primer molino al último, segun-

de aumentando del primero al último molino.

La velocidad de los molinos varia de acuerdo al setting y no hay ningún interés de adoptar velocidades altas o lentas; ya que el aumento de la disminución del colchón de bagazo se compensa por el aumento de la velocidad periférica o inversamente. Por consiguiente se puede dar a toda la batería una misma velocidad uniforme y la solución son siempre locales.

Las velocidades lentas, de la turbina hacia el eje superior de los molinos se consiguen mediante las reducciones de velocidad denominados "juego de engranes".

En un molino de turbina, la velocidad de ésta está calculada entre 2500 a 4500 rpm.; el reductor de la turbina reduce de 4500 a 681.81 rpm (con una relación de 6.6 : 1); el reductor independiente de velocidad entre 21 a 42 rpm. y finalmente la velocidad de transmisión a la maza superior es de 3.3 a 7 rpm. (con una relación de 97.025:1). Esto es que la reducción de transmisión se consigue mediante un juego de 3 engranes generalmente, desde las turbinas hasta el eje superior de las mazas, para luego transmitir esta maza el movimiento de las mazas inferiores.

E) LUBRICACION Y LIMPIEZA.- La limpieza de los molinos en conjunto y accesorios (plataforma de alimentación del bagazo, conductores intermedios,..etc.) es preciso y fundamental para evitar la inversión de la sacarosa por la acumulación de impurezas. Es necesario lavar toda la maquinaria con agua de cal o en todo caso con $(C_{10})_2Ca$ para evitar la formación de la levadura.

En cuanto a la lubricación, se debe tener bastante cuidado y vigilancia sobre todos los sistemas de engranajes y todos los demás que son partes del molino .

Estos parámetros que acabamos de enunciar son importantes para el rendimiento del tandém de molinos, en términos de extracción de jugo.

Los jugos extraídos por los molinos son conducidos desde las pailas hasta las zarandas mediante una bomba, luego hacia la pesa de los jugos y luego al recipiente de clarificación.

Cabe destacar, que el peso del 25 % de caña molida corresponde a la fibra; vale decir, de 100 tons. de caña molida el 25 % es fibra. Lo mismo sucede también con el bagazo en % de fibra en relación a la caña; para determinar el bagazo % caña se tiene la relación siguiente :

$$\text{Bagazo \% Caña} = \frac{\text{Relación de fibra por \% fibra}}{\text{Relación de fibra por \% bagazo}}$$

Finalmente del último molino se debe obtener bagazo seco, con una humedad de 50 % de bagazo.

3.1.10. DESCRIPCION DE LA TECNICA DEL PROCESO DE IMBIBICION Y EX -

TRACCION DE LA MOLIENDA.- Son dos procesos de vital importancia que se efectúan durante la molienda : primero, conseguir mayor cantidad de extracción de sacarosa y segundo mediante la imbibición.

1) LA IMBIBICION.- La imbibición consiste en agregar agua al bagazo para conseguir una extracción mayor en los molinos, en donde ya no es posible más la extracción por la presión del primer molino.

La imbibición se realiza después del primer molino, para que el siguiente molino tome al bagazo ya embebido y poder extraer el jugo diluido, más no el jugo absoluto.

De esta manera la imbibición influye en la extracción de una buena cantidad de sacarosa. Con una imbibición buena se puede conseguir una extracción de 95 % .

En algunos ingenios azucareros, no se requiere trabajar con todo el jugo de la molienda, se selecciona los mejores jugos para la elaboración y los jugos pobres se utiliza en el proceso de imbibición en reemplazo del agua.

La imbibición se clasifica en :

a) Imbibición Simple; significa agregar agua al bagazo después de cada molino, osea después del primer molino o la "presión seca" ; prácticamente a partir del segundo molino hasta el penúltimo molino.

Se dice "IMBIBICION SIMPLE UNICA", cuando el agregado de agua se realiza en un solo punto : entre los dos últimos molinos.

Se dice "IMBIBICION SIMPLE DOBLE" , cuando se agrega agua dos veces entre el penúltimo y el último molino; luego entre el antepenúltimo y el penúltimo molino . De la misma manera se explica la imbibición simple triple, cuádruple, etc.

b) Imbibición Compuesta; consiste en aprovechar el jugo diluido por el último molino, que es casi agua, para enviar para tal efecto al molino penúltimo.

La imbibición compuesta resulta prácticamente de la imbibición simple única aplicada a los últimos molinos. Además la imbibición simple tiene el inconveniente de consumir agua en cantidad.

El bagazo tiene una gran afinidad con el agua y la dilución es rápida e instantánea. Por tal motivo se da mucha importancia a la imbibición aplicada al bagazo lo más adelante posible del molino, para que la dilución sea más completa y por ende el bagazo tiene más tiempo de absorber el agua o el jugo que recibe.

El bagazo contiene de 1 a 2 partes de agua por 1 de fibra, estando lejos de ser saturado por estas condiciones. Por tanto la capacidad de absorción del bagazo seco durante la imbibición es de 5 a 10 veces su peso de agua.

La primera capa del colchón de bagazo tiende a absorberla completamente al agua, mientras permanecen secos todavía los intermedios del colchón de bagazo; para ello es recomendable utilizar distribuidores de agua por tubos que por aspersores.

La distribución más o menos defectuosa del agua o del jugo dilui-

de en el bagazo se corrige en cierta manera por el reflujo del líquido bajo la presión de los cilindros, en donde las partes muy embebidas se desprenden en ese momento del exceso de líquido para el beneficio de las partes más secas (este fenómeno es importante)

La imbibición compuesta se clasifica además en :

- Imbibición Compuesta doble
- Imbibición Compuesta triple
- Imbibición Compuesta cuádruple
- Imbibición Compuesta múltiple

La metodología a utilizar en la imbibición es importante, no es lo mismo la imbibición por jugo ,que por agua; porque el agua se aplica limpio de impurezas, mientras que el jugo siempre arrastra una proporción considerable de bagacillo. Por eso es importante utilizar el agua en forma más conveniente para la imbibición que el jugo.

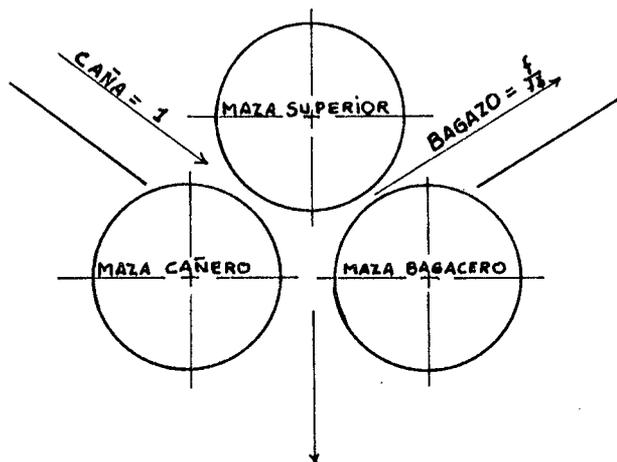
Para comprender mejor se hará el estudio matemático breve de la imbibición que es más compleja que lo que parece y que juega un papel importante en los resultados financieros de la fábrica, en el orden siguiente :

- Presión seca
- Presión húmeda
- Imbibición simple múltiple
- Imbibición compuesta múltiple.

A.- ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA PRESIÓN SECA (SIN AGUA)

Se denomina presión seca al primer molino, sin la adición de nin

gún líquido; considerado también la desmenuzadora (si existe).



Sea : $JUGO = CAÑA - BAGAZO = 1 - \frac{f}{fb}$

n = número de molinos : 1, 2, 3, ..., n

f = fibra de caña.

f_b = fibra del bagazo en el molino.

c_b = cantidad de bagazo dado por el molino.

j_b = cantidad de jugo extraído por el molino.

Considerando 1 Kg de caña que pasa por los molinos, se tiene:

$$1 \cdot f = c_1 \cdot f_1 = c_2 \cdot f_2 = c_3 \cdot f_3 = \dots = c_n \cdot f_n$$

Del gráfico se tiene :

$$c_1 = f/f_1 \quad c_2 = f/f_2 \quad c_3 = f/f_3 \quad \dots \quad c_n = f/f_n$$

Entonces la cantidad de jugo extraído por los molinos será:

$$j_1 = 1 - f/f_1 \quad \text{en el primer molino}$$

$$j_2 = 1 - f/f_2 - (1 - f/f_1) = f(1/f_1 - 1/f_2) \quad \text{en el 2º molino}$$

$$j_3 = 1 - f/f_3 - (1 - f/f_1) - f(1/f_1 - 1/f_2)$$

$$j_3 = f(1/f_2 - 1/f_3) \quad \text{en el tercer molino}$$

Luego para "n" molino se tendrá:

$$j_n = f \left(\frac{1}{f_n - 1} - \frac{1}{f_n} \right) \quad (1)$$

En la práctica f_n aumenta rápidamente hacia un límite muy cercano a 0.5, (Fig.5).

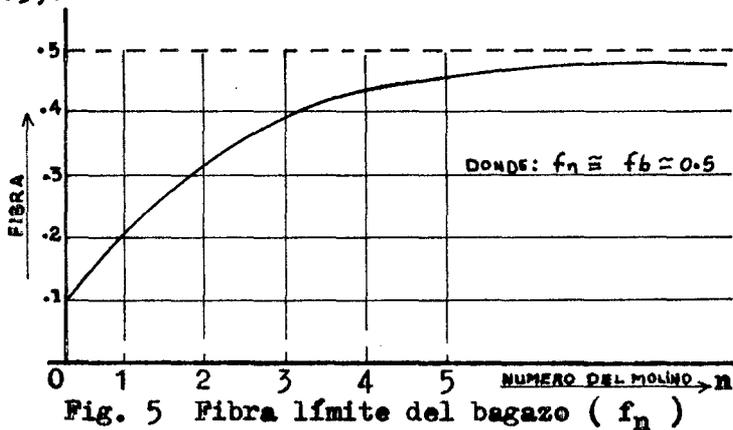


Fig. 5 Fibra límite del bagazo (f_n)

Por consiguiente, la cantidad de jugo extraído por los molinos sucesivos baja rápidamente y tiende hacia 0.

Sea :

f_n = fibra del último bagazo (del último molino de la presión seca, o a la salida del primer molino de la batería).

Entonces la extracción del jugo en forma teórica será:

$$e' = \frac{\text{jugo extraído}}{\text{jugo en la caña}} = \frac{1 - f/f_n}{1 - f} = \frac{f_n - f}{f_n(1 - f)} \quad (2)$$

La extracción real será:

$$e = \frac{\alpha (f_n - f)}{f_n (1 - f)} \quad (3)$$

Donde: $\alpha = 1.05$ a 1.10

B.- ANALISIS MATEMATICO DE LA IMBIBICION POR PRESION HUMEDA

Sabemos que f_n se aproxima a su límite 0.5, en la presión seca. Si en este momento empezamos agregar agua al siguiente molino se llamará "primer molino de presión húmeda".

De aquí por lo expuesto anteriormente, se puede suponer: que todos los molinos en adelante llevan al bagazo a una fibra muy próxima a $f_n \cong 0.5$, con f/f_n de bagazo (Fig. 6).

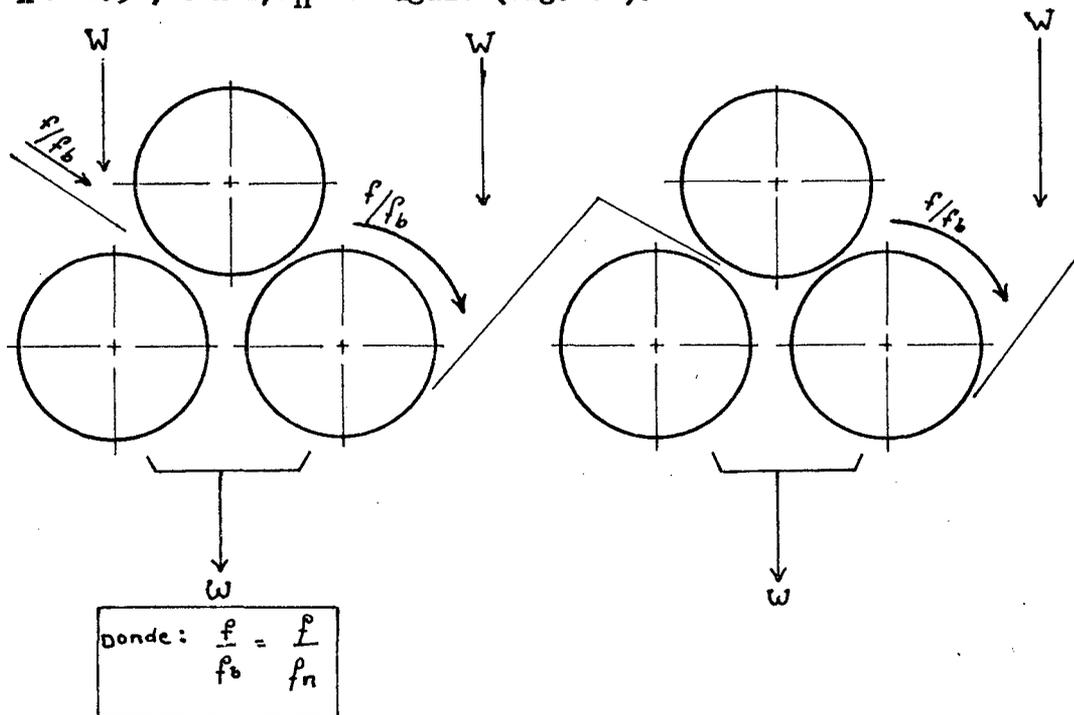


Fig. 6 Imbibición por Presión Húmeda

De la figura se tiene:

$$f/f_n + W = f/f_n + w$$

$$(f/f_n + W) - f/f_n = w \quad (4)$$

Donde :

W = Cantidad de agua de imbibición añadida por unidad de peso caña

f = Fibra de caña por un(1)Kg peso.

f_n = Fibra del bagazo por 1 Kg peso.

w = Cantidad de jugo extraído.

La proporción del jugo extraído (r) es :

$$r = \frac{\text{jugo extraído}}{\text{jugo entrando}} = \frac{w}{f/f_n - f + W} = \frac{wf_n}{f(1-f_n)+Wf_n} \quad (5)$$

De (4) se deduce : $W = w$

Reemplazando (4) en (5) :

$$r = \frac{wf_n}{f(1-f_n) + wf_n} \quad (5a)$$

En efecto la ecuación (5a) puede escribirse :

$$r = \frac{\lambda f_n}{1 - f_n + \lambda f_n} \quad (6)$$

Siendo : $\lambda = W/f = \frac{\text{peso del agua de imbibición}}{\text{peso de la fibra de caña}}$

$$W = \lambda f = w$$

Como f_n es cercana a 0.5, se tiene :

$$r = \frac{\lambda}{1 + \lambda} \quad (7)$$

La fórmula (5a) se ha simplificado bajo las siguientes consideraciones:

- La imbibición húmeda comienza antes que la presión seca haya llevado al bagazo a la fibra límite, por ende la imbibición se aplica a la salida del primer molino . En consecuencia los primeros molinos dan una cantidad de jugo superior al jugo diluido (jugo residual); verificándose entonces que la extracción final no es superior a la que hubiera podido obtenerse si se hubiese llegado a la fibra límite desde el primer molino.
- El jugo extraído es siempre de pureza ligeramente superior al jugo residual.
- El agua agregado durante la imbibición sólo se mezcla en una proporción tal como " β " al jugo existente en el bagazo que humedece; quedando una proporción de jugo sin diluir porque está en células enteras debido a que el bagazo tiene una gran afinidad con el agua.

Como el molino extrae el jugo embebido de la primera capa del colchón de bagazo, que el jugo del bagazo no embebido, se deduce que este molino solamente retira una cierta cantidad de azúcar, en la proporción:

$$\beta r < r$$

Siendo ; βr = cantidad de azúcar extraído por los molinos

r = cantidad de jugo extraído por los molinos durante la imbibición

Por consiguiente, en la práctica la proporción de azúcar extraída es diferente por las condiciones arriba dadas y fundamentalmente la fórmula

mula (7) es función de λ y más no de W (agua añadida al bagazo).

C.- ANALISIS MATEMATICO DE LA IMBIBICION SIMPLE MULTIPLE

Se llama imbibición simple, cuando se realiza únicamente con agua , sin regresar el jugo al bagazo.

La imbibición simple se llama múltiple, cuando se agrega agua dos o más veces antes de dos o más molinos.

Para "n" molinos de presión húmeda , existe una cantidad W de agua a utilizar proporcionalmente; entonces cada molino recibe: W/n .

En consecuencia la proporción de jugo extraído por cada molino, se obtiene a partir de la ecuación (5a) :

Se sabe que; $w = W/f = \lambda$ $w = W/n$

Entonces , igualando la cantidad de jugo extraído tenemos:

$$W/f = W/n \quad \longrightarrow \quad f = n \quad (i)$$

Además :

$$w = W/n = \lambda \quad \longrightarrow \quad w = \lambda \quad (ii)$$

Finalmente reemplazando (i) y (ii) en (5a) obtenemos :

$$r = \frac{\lambda f_n}{n(1 - f_n) + \lambda f_n} \quad (8)$$

Cuando, $f_n \longrightarrow 0.5$, la extracción de jugo (r) se simplifica:

$$r = \frac{\lambda}{\lambda + n} \quad (8a)$$

Si seguimos agregando W/n de agua, todavía existe f/f_n de bagazo y W/n de jugo extrayéndose la proporción $\beta'r'$ del azúcar presente.

Como la cantidad de agua W/n es la misma repartido en la misma proporción, se establece las siguientes hipótesis:

$$r' = r \quad f_n' = f_n \quad \beta' = \beta$$

Siendo : r' = proporción del jugo extraído teórico.

r = proporción del jugo extraído real.

$(f_n)'$ = fibra del bagazo teórico.

f_n = fibra del bagazo real.

β' = cantidad de azúcar extraído teórico.

β = cantidad de azúcar extraído real.

Esta igualdad se considera, porque el jugo que permanece debe obtenerse más difícilmente en compensación y el bagazo queda mejor preparado para recibir una presión más.

En realidad el coeficiente β va disminuyendo a medida que se va agotando el bagazo, ya que el jugo estará cada vez más asimilado en las cortezas completas y este inconveniente la división del bagazo sólo compensa muy poco.

Por consiguiente se deduce para cada unidad de azúcar que llega a la primera presión húmeda, el molino extrae βr , quedando $(1 - \beta r)$.

Luego se establece lo siguiente :

Sea ; β = coeficiente promedio, entonces la primera presión extrae:

βr , deja : $1 - \beta r$ de azúcar . La segunda retira : $(1 - \beta r) \beta r$

Las dos presiones reunidas arrojan: $\beta r + (1 - \beta r) \beta r$

queda de las dos presiones reunidas :

$$1 - \left[\beta r + (1 - \beta r) \beta r \right] = (1 - \beta r)^2$$

La tercera presión retira :

$$(1 - \beta r)^2 \beta r$$

Las tres primeras presiones húmedas reunidas dan :

$$\beta r + (1 - \beta r) \beta r + (1 - \beta r)^2 \beta r$$

Y así sucesivamente, hasta "n" presiones húmedas se extrae :

$$\beta r + (1 - \beta r) \beta r + (1 - \beta r)^2 \beta r + \dots + (1 - \beta r)^{n-1} \beta r$$

Progresión geométrica cuya suma es :

$$1 - (1 - \beta r)^n$$

Por consiguiente, la extracción total de la batería será :

Extracción Total = Presión seca + Presión húmeda.

$$E_T = \frac{\alpha (f_n - f)}{f_n (1 - f)} + 1 - \frac{\alpha (f_n - f)}{f_n (1 - f)} 1 - (1 - \beta r)^n \quad (9)$$

Siendo :

n = número de molinos = número de imbibiciones.

W = peso del agua de imbibición por 1 Kg peso de caña.

f_n = fibra peso por 1 Kg peso de caña.

W/n = cantidad de agua repartido igualmente sobre los molinos.

α = coeficiente = 1.05 a 1.10

β = coeficiente del agua de imbibición.

β = 0.80 a 0.85

$$r = \text{proporción de jugo extraído real} = \frac{\lambda}{\lambda + n}$$

D.- ANALISIS MATEMATICO DE LA IMBIBICION COMPUESTA MULTIPLE

Se llama imbibición compuesta múltiple, cuando se aplica el agua antes del último molino, haciendo retornar el jugo obtenido por el último molino hasta el penúltimo; el jugo de aquel al precedente y así sucesivamente hasta la primera presión húmeda, o, antes del segundo molino de la batería (Fig.7).

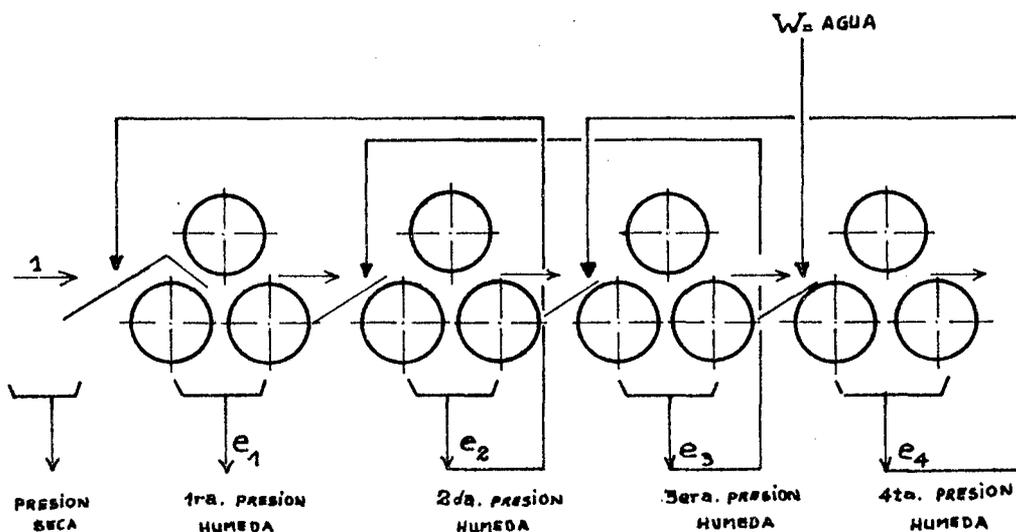


Fig. 7 Imbibición compuesta múltiple

Para la elaboración del azúcar se envía el jugo extraído del primer molino de presión húmeda junto con el jugo de presión seca.

Sea : e_1 , e_2 , e_3 , e_4 , , e_n , cantidades correspondientes de azúcar extraída por el primero, el segundo, el tercero, hasta "n" molinos de presión húmeda. Cada uno de estos molinos extraen una proporción "r" de azúcar, retirando "w" de jugo y con "f_n" fibra de bagazo.

El análisis de aproximación para calcular la extracción total de azúcar obtenida por los molinos es :

Primer molino de presión húmeda recibe una cantidad de azúcar :

$$A_1 = 1 + e_2$$

Primer molino de presión húmeda extrae :

$$e_1 = rA_1 = r(1 + e_2)$$

Queda el bagazo en el primer molino de presión húmeda :

$$B_1 = A_1(1 - r) = (1 + e_2)(1 - r)$$

En el segundo molino de presión húmeda :

Llega azúcar : $A_2 = e_3 + B_1$

Extrae : $e_2 = rA_2 = re_3 + r(1 + e_2)(1 - r)$

Queda : $B_2 = A_2(1 - r) = e_3(1 - r) + (1 + e_2)(1 - r)^2$

En el tercer molino de presión húmeda :

Llega azúcar : $A_3 = e_4 + B_2$

Extrae : $e_3 = rA_3 = re_4 + e_2(1 - r)$

Queda el bag.: $B_3 = A_3(1 - r)$

Para (n - 1) molinos de presión húmeda:

Llega azúcar : $A_{n-1} = e_n + e_{n-1}(1-r) + e_{n-2}(1-r)^2 + \dots +$

$$e_3(1 - r)^{n-3} + (1 + e_2)(1 - r)^{n-2}$$

Extrae : $e_{n-1} = re_n + (1 - r)e_{n-2}$

Queda en su bagazo :

$$B_{n-1} = e_n(1-r) + e_{n-1}(1-r)^2 + \dots + e_3(1-r)^{n-2} + (1+e_2)(1-r)^{n-1}$$

Para el último molino:

Llega azúcar :

$$A_n = 0(\text{agua}) + e_n(1-r) + e_{n-1}(1-r)^2 + \dots + e_3(1-r)^{n-2} + (1 + e_2)(1 - r)^{n-1}$$

Extrae :

$$e_n = e_{n-1}(1 - r)$$

Agrupando todo los términos de las "e" sucesivas y sumando miembro a miembro del análisis de extracción, se simplifica:

$$e_n = e_{n-1} - re_{n-1}$$

$$e_{n-1} = re_n + e_{n-2} - re_{n-2}$$

$$e_{n-2} = re_{n-1} + e_{n-3} - re_{n-3}$$

$$\dots = \dots + \dots = \dots$$

$$e_3 = re_4 + e_2 - re_2$$

$$e_2 = re_3 + e_1 - re_1$$

$$e_1 = re_2 + r$$

(10)

$$e_n = re_n + r - re_1$$

De donde se obtiene:

$$e_n = \frac{r}{1 - r}(1 - e_1)$$

De la misma manera se despeja los demás incógnitas de la ecuación(10)

suprimiendo la primera igualdad se tiene:

$$e_{n-1} = re_n + re_{n-1} + r(1 - e_1)$$

$$e_{n-1} = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1 - r} + \frac{r^2}{(1 - r)^2} \right]$$

Suprimiendo la igualdad segunda, tercera,..etc ,se obtienen:

$$e_{n-2} = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1 - r} + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^2 + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^3 \right]$$

..... =

$$e_2 = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1 - r} + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^2 + \dots + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^{n-1} \right]$$

$$\text{Luego : } e_1 = r(1 + e_2) \implies e_2 = \frac{e_1 - r}{r}$$

$$\text{Igualando : } e_2 = \frac{e_1 - r}{r} = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1 - r} + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^2 + \dots + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^{n-1} \right]$$

$$\text{De donde : } e_1 = r \frac{1 + \left[\frac{r}{1 - r} + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^2 + \dots + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^{n-1} \right]}{1 + r \left[\frac{r}{1 - r} + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^2 + \dots + \left(\frac{r}{1 - r}\right)^{n-1} \right]}$$

Sea : $a = \frac{r}{1 - r}$, una progresión geométrica cuya suma tiene un va -

lor: $a \frac{a^{n-1} - 1}{a - 1}$

Reemplazando este término en el paréntesis:

$$e_1 = \frac{a}{a+1} \cdot \frac{1 + a \cdot \frac{a^{n-1} - 1}{a - 1}}{1 + \frac{a}{a+1} \cdot a \cdot \frac{a^{n-1} - 1}{a - 1}}$$

$$e_1 = a \cdot \frac{a^n - 1}{a^{n-1} - 1}, \quad a \neq 1 \quad (11)$$

Para $a = 1$;

$$e_1 = \frac{n}{n + 1}$$

Finalmente la extracción total de la batería que deseamos evaluar se rá, presión seca más presión húmeda :

$$E_T = \frac{\alpha(f_n - f)}{f_n(1 - f)} + \left[1 - \frac{\alpha(f_n - f)}{f_n(1 - f)} \right] a \cdot \frac{a^n - 1}{a^{n+1} - 1} \quad (12)$$

Siendo; $a = \lambda = W/f$

CONSIDERACIONES PRACTICAS DE LAS ECUACIONES TEORICAS DE LA IMBIBICION

Al compararse los resultados prácticos obtenidos con los resultados teóricos hallados tanto en la imbibición compuesta como en la imbibición simple, se corrige con un coeficiente de eficiencia β :

$$\beta = \frac{\text{azúcar realmente extraída por la imbibición considerada}}{\text{azúcar extraída teóricamente según las fórmulas precedentes}}$$

$\beta = 0.60$ a 0.85 (valor adoptado, que no está lejos de la realidad)

El coeficiente es variable y depende:

- Del sistema de imbibición que se utilice.
- Del estado de los cilindros o mazas.
- Del estado de preparación del colchón de bagazo.
- Y en forma general, tanto la imbibición compuesta como la imbibición simple depende del tipo de molino considerado.

En efecto : $\lambda > 2$, imbibiciones altas, mayor eficacia.

$\lambda < 2$, imbibiciones medias o débiles.

$\beta = (0.60 \text{ a } 0.85)$, imbibición con agua bajo presión.

$\beta = (0.50 \text{ a } 0.70)$, imbibición con retorno de jugo.

Para tomar en cuenta el coeficiente β , es necesario reemplazar el valor de " λ " por λ' en la ecuación (12) :

$$\lambda' = \frac{\beta r}{1 - \beta r} \quad (13)$$

La variación de la extracción residual en función de la imbibición, se muestra en dos gráficos siguientes :

- para la gráfica teórica , usar las fórmulas teóricas : ecuación (12).
- para la gráfica práctica, utilizar la ecuación (13) y (12) , con un coeficiente $\beta = 0.80$

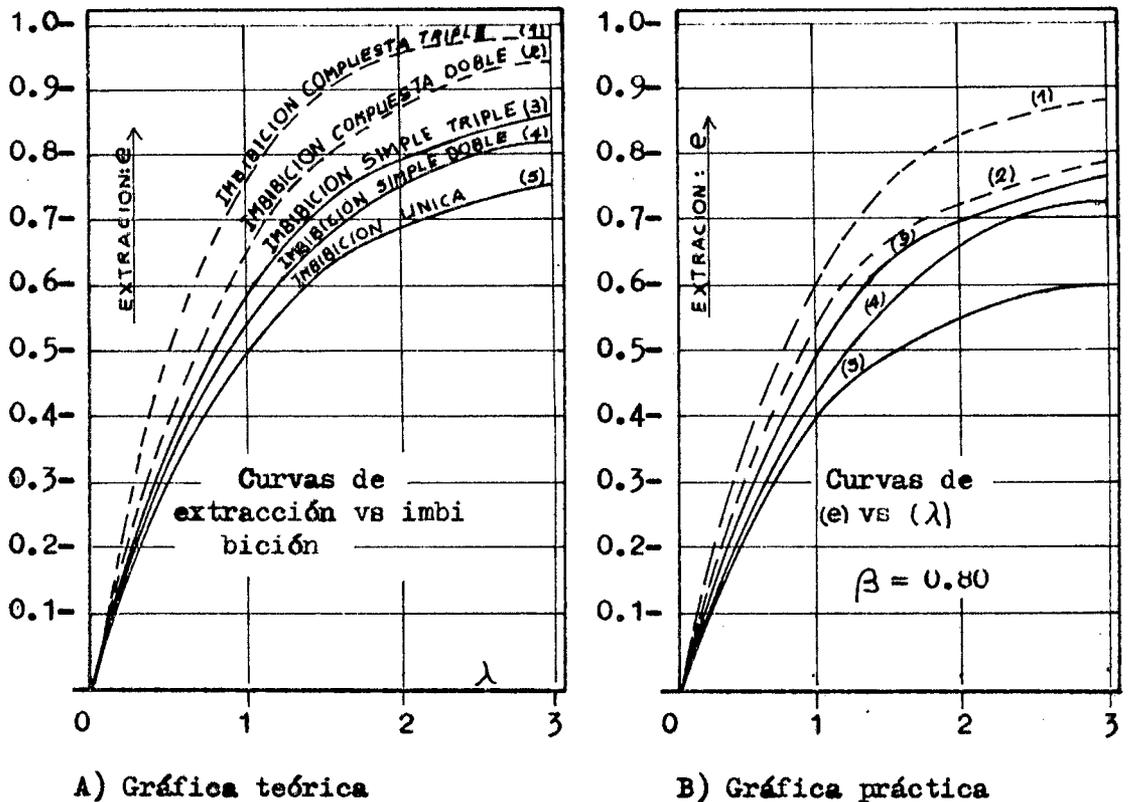


Fig. 8 Variación de la extracción residual en función de la imbibición : A) Curvas teóricas , B) Curvas reales

Observación:

La hipótesis de un coeficiente único y constante β es aproximada; sin embargo sirve para medir hasta que punto es buena o mediocre la eficiencia, sobre todo en la imbibición compuesta.

Con la imbibición, la extracción aumenta rápidamente al principio y lentamente después. Aumenta también el consumo de vapor, esto es, si la fábrica consume combustible o el bagaze evidentemente existe una cantidad de agua que corresponde a un beneficio máximo en función de :

$$\frac{\text{Precio del azúcar}}{\text{Precio del combustible}}$$

A igual cantidad de agua utilizada, la imbibición compuesta es mayor

a la imbibición simple.

La capacidad se limita en la imbibición compuesta rápidamente, porque ésta conduce a retornar una gran cantidad de líquido sobre el ba gaze, esto es, doble en la imbibición compuesta doble; tres veces en triple, para la misma cantidad de agua. Por esta razón la cantidad de agua está limitada, no por la evaporación en capacidad, sino por los atascamientos de los molinos.

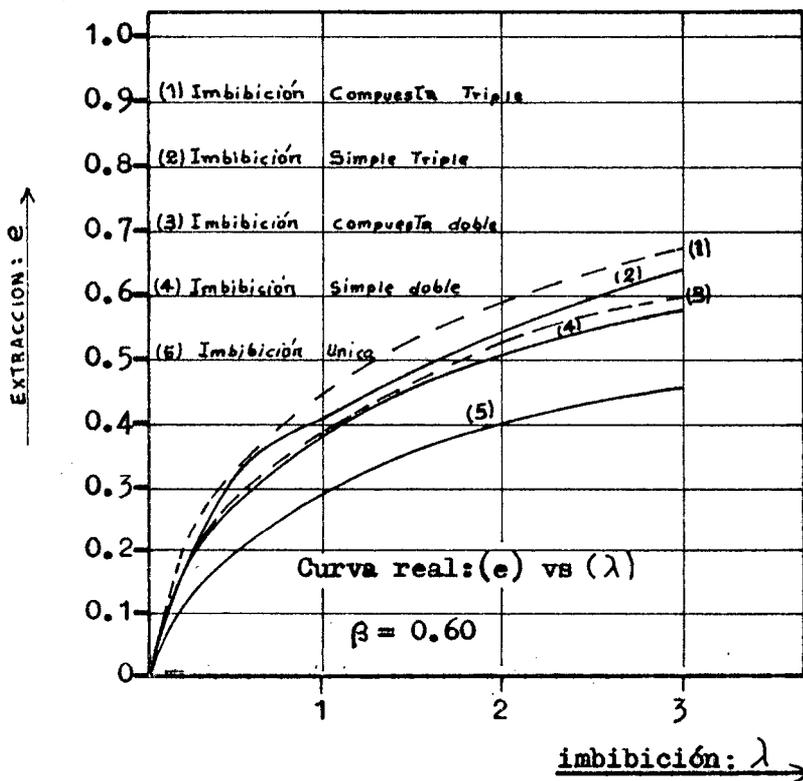


Fig. 9 Variación de la extracción residual en función de la imbibición : C) Curva real

El comportamiento de las curvas de la figura 8 a fig. 9, nos indica que la "imbibición óptima" alcanza cuando λ tiende muy cercano a 2 .

En efecto: λ (0 a 1) , aumenta muy rápidamente la extracción

$\lambda(1 \text{ a } 2)$, muy aprisa

$\lambda(\text{arriba de } 2)$, muy lentamente

MODELO MATEMATICO DEL BRIX Y RIQUEZA DE LOS JUGOS DE LA IMBIBICION
COMPUESTA

Considerando que las cantidades de azúcar extraída por los diversos molinos es proporcional a las cantidades de jugo extraídos por ellos mismos; tanto de presión seca como de presión húmeda, se evalúa tomando en cuenta esta hipótesis el brifx y la riqueza de los jugos.

BRIFX.- Se llama brifx del jugo a la maza compuesta de sólidos disueltos totales por la masa de la solución.

$$\text{BRIFX} = \frac{\text{masa total de sólidos disueltos}}{\text{masa de la solución}}$$

$$B_j = B_0 \cdot \frac{\lambda^{n-j+1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \quad (14)$$

Siendo :

B_j = brifx del jugo de presión húmeda = brifx del jugo secundario

B_0 = brifx del jugo de presión seca = brifx del jugo primario

n = número de molinos de presión húmeda

$j = 1, 2, \dots, j^0$ = lugar entre los molinos de presión húmeda

$\lambda = W/f$ = peso del agua de imbibición por unidad de peso fibra de caña

CURVAS DEL BRIX

La eficiencia del trabajo de una batería de molinos se aprecia mediante las escalas del brix, por la forma en que los valores encontrados en cada molino se aproximan a la curva teórica.

Para integrar las curvas del brix se toma generalmente el brix del jugo de la maza bagacera.

En los molinos de presión seca de preferencia el brix del jugo de la maza cañera.

En los molinos de presión húmeda por el contrario de preferencia, se toma el brix del jugo de la maza de salida o bagacera, que es el más alto.

A continuación se dan las curvas del brix (Fig. 10) que sirven como ejemplo para la prueba del trabajo de los molinos; encontrados en la batería de 15 mazas de la Sociedad Azucarera Paramonga Ltda.

A) Campo : "Santa Beatriz" (1968)

Molinos	Brix	Fibra % caña	:	15.0
Mol. 1	: 18.60	Imbib. % caña	:	30.0
Mol. 2	: 16.90	Imbib. % fibra	:	205.0
Mol. 3	: 11.20	Pol % de bagazo	:	2.98
Mol. 4	: 9.40	Humedad % bagazo	:	51.18
Mol. 5	: 5.20	Extrac. total	:	92.07
Tons. de		Jugo abs. perd. %		
caña	: 1592.420	fibra	:	52.3
Pol %		Estos datos han sido tomados de la		
caña	: 12.16	molienda del año 1968.		

1/. B) CAMPO : QUEBRADA - 1970 - VARIEDAD, CH - 32

Nº Molinos	JUGOS RESIDUALES			BAGAZOS		EXTRACCION DE SACAROSA	
	Brix	Pol	Pureza	Hum %	Pol %	Sac % Fibra	Extrac. hasta melino % Sac. Total
Mol. 1	19.00	15.60	82.11	55	8.8	35.8	72.11
Mol. 2	17.60	14.00	80.00	53	6.8	17.8	80.70
Mol. 3	13.00	10.00	76.00	52	5.0	12.3	86.70
Mol. 4	9.30	6.84	73.55	51	3.6	8.30	91.00
Mol. 5	4.36	3.08	70.60	50	2.6	5.73	93.80

Sac.% caña : 13.43 , Fibra % caña : 14.5 , Sac. % fibra : 92.5

Extrac. Sacarosa del campo : 93.4 , Extrac. reducida del campo: 94

1/. Datos del laboratorio de azúcar.- Ingenio Paramonga, 1970.

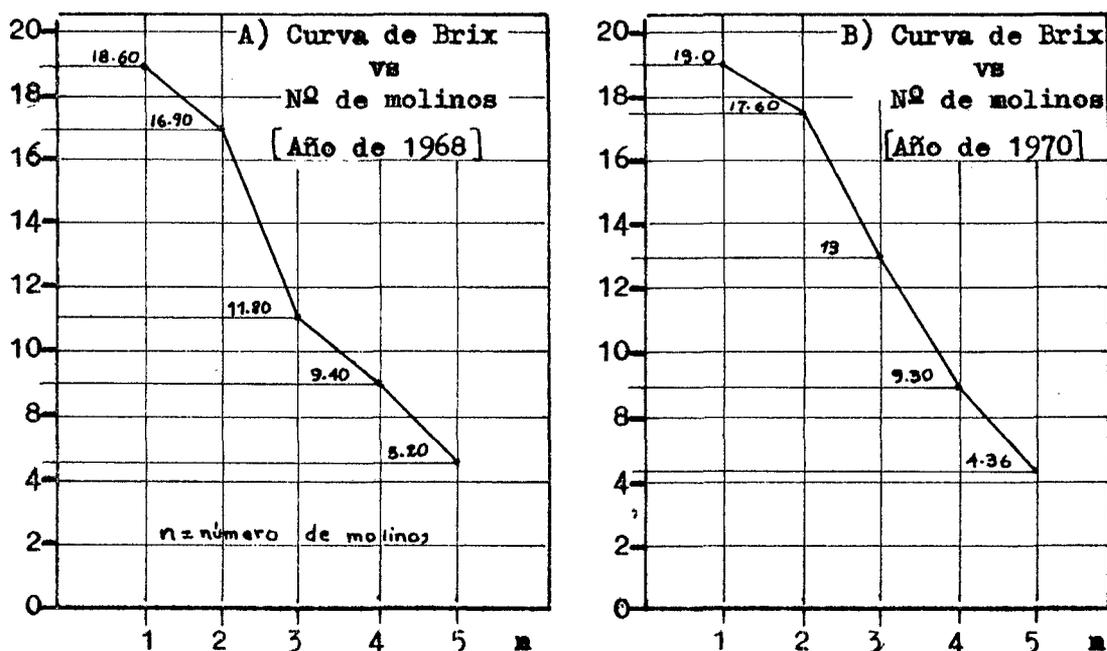


Fig. 10 Curvas de control de los molinos : A y B

RIQUEZA.- La caña se paga por su "Riqueza en Sacarosa"; esto es por su calidad de rico, gustoso, agradable y excelente sabor.

Para hallar la riqueza de los diferentes jugos, se establece la hipótesis anterior : que el jugo de la imbibición se mezcla íntimamente con el jugo ya contenido por el bagazo que lo recibe.

Sea :

S_0 = riqueza del jugo a la salida de presión seca.

S_1 = riqueza del jugo dado por el 1er. molino de presión húmeda.

S_2 = riqueza del jugo de la segunda presión húmeda.

S_3 = riqueza del jugo del 3er. molino de presión húmeda.

S_n = riqueza del jugo dado por "n" molinos de presión húmeda.

Además se tiene las riquezas relativas que permanecen después de la presión seca :

$$s_1 = S_1/S_0 \quad s_2 = S_2/S_0 \quad s_3 = S_3/S_0 \quad \dots \quad s_n = S_n/S_0$$

En función a la unidad de peso de la caña:

Q_0 = peso del azúcar que permanece en el bagazo después de la presión seca.

Q_1 = peso del azúcar extraída por el 1er. molino de presión húmeda.

Q_2 = peso del azúcar extraída por el 2o. molino de presión húmeda.

hasta:

Q_n = peso del azúcar extraída por "n" molinos de presión húmeda.

j_0 = peso del jugo existente en cada bagazo.

W = peso del jugo o del agua de imbibición aplicada en cada molino.

Haciendo : $j_0 = f$

Se sabe que : $r = \frac{W}{f+W} = \frac{\lambda}{\lambda + 1}$ (i)

Haciendo : $j_0 \approx f$, y reemplazando en (i) se tiene.

$$r = \frac{W}{j_0+W} \longrightarrow 1 - r = \frac{j_0}{j_0+W} \quad (ii)$$

$$\frac{r}{1 - r} = \frac{W}{j_0} = \lambda \quad (iii)$$

Luego :

$$Q_0 = j_0 S_0 \quad , \quad Q_0/Q_0 = 1$$

$$Q_1 = W S_1 \quad , \quad Q_1/Q_0 = e_1 = \frac{W S_1}{j_0 S_0} = \lambda s_1$$

$$Q_2 = W S_2 \quad , \quad Q_2/Q_0 = e_2 = \frac{W S_2}{j_0 S_0} = \lambda s_2$$

hasta

$$Q_n = W S_n \quad , \quad Q_n/Q_0 = e_n = \frac{W S_n}{j_0 S_0} = \lambda s_n$$

Se deduce entonces :

$$\frac{S_{j+1}}{S_j} = \frac{s_{j+1}}{s_j} = \frac{e_{j+1}}{e_j} = \frac{(1-e)(\lambda + \lambda^2 + \lambda^3 + \dots + \lambda^{n+j})}{(1-e)(\lambda + \lambda^2 + \lambda^3 + \dots + \lambda^{n-j+1})}$$

O bien :

$$\frac{S_{j+1}}{S_j} = \frac{\lambda \cdot \frac{\lambda^{n-j} - 1}{\lambda - 1}}{\lambda \cdot \frac{\lambda^{n-j+1} - 1}{\lambda - 1}} = \frac{\lambda^{n-j} - 1}{\lambda^{n-j+1} - 1} \quad (15)$$

Se cumple para; $1 < j < n$, sii : $S_2/S_0 = e_2/e_1$

En efecto, considerando que la mezcla del jugo es completa después de la imbibición, el jugo extraído por el melino y como también el jugo que permanece en el bagazo; tienen la misma riqueza, se plantea:

$$S_1(W + j_0) = S_0j_0 + S_2W \longrightarrow S_1 = rS_2 + (1 - r)S_0$$

$$S_1/S_0 = rS_2/S_0 + (1 - r) = r \frac{S_2}{S_1} \frac{S_1}{S_0} + (1 - r)$$

$$\frac{S_1}{S_0} = r \cdot \frac{\left(\frac{r}{1-r}\right)^{n-1} - 1}{\left(\frac{r}{1-r}\right)^n - 1} \cdot \frac{S_1}{S_0} + (1 - r)$$

Simplificando :

$$\frac{S_1}{S_0} = \frac{\left(\frac{r}{1-r}\right)^n - 1}{\left(\frac{r}{1-r}\right)^n \left[\left(\frac{1}{1-r}\right) - 1\right] - 1} \quad (iv)$$

Ahora pues bien, para $j = 0$; se cumple también para $S_1/S_0 = ?$

$$\frac{r}{1-r} = \lambda \quad , \text{ se tiene entonces :}$$

$$S_1/S_0 = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

$$\text{Por consiguiente se verifica : } \frac{S_1}{S_0} = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

(Iqq)

Luego :

$$s_1 = \frac{S_1}{S_0} = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \quad , \text{ para } j = 0$$

$$s_2 = s_1 \cdot s_2 / s_1 \quad , \quad \frac{s_2}{s_1} = \frac{\lambda^{n-1} - 1}{\lambda^n - 1} \quad , \quad j = 1$$

$$s_2 = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \cdot \frac{\lambda^{n-1} - 1}{\lambda^n - 1} = \frac{\lambda^{n-1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

$$s_3 = s_2 (s_3 / s_2) = \frac{\lambda^{n-1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \cdot \frac{\lambda^{n-2} - 1}{\lambda^{n-1} - 1} = \frac{\lambda^{n-2} - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

hasta :

$$s_j = s_{j-1} \cdot \frac{s_j}{s_{j-1}} = \frac{\lambda^{n-j+2} - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \cdot \frac{\lambda^{n-j+1} - 1}{\lambda^{n-j+2} - 1} = \frac{\lambda^{n-j+1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

Por consiguiente la fórmula general para calcular la riqueza de cualquier juego es :

$$s_j = \frac{S_j}{S_0}$$

$$S_j = S_0 \times s_j = S_0 \frac{\lambda^{n-j+1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1} \quad (16)$$

Donde :

j = lugar del molino considerado de presión húmeda.

n = número de molinos.

S_0 = riqueza del juego de presión seca = riqueza del juego normal.

S_j = riqueza del juego de "j"ésimo molino de presión húmeda.

2) LA EXTRACCION.- Es el rendimiento o eficiencia de los molinos, que al realizar un trabajo de compresión tienen el único propósito de obtener la cantidad de sacarosa extraída del jugo, por 100 de caña.

Es imposible de conseguir una extracción de 100 % , debido a las pérdidas que existen tanto en el bagazo y otros.

El máximo rendimiento que se puede obtener es de 98 % en una batería de molinos con 40 % del agua de imbibición. Esto es que, con 30 % de agua añadida a los molinos se obtiene una extracción de 95 % y con una capacidad de 20 % del agua de imbibición se obtiene una eficiencia de 93 %.

El límite de utilización del agua de imbibición se da mediante dos maneras :

i) Imbibición compuesta : $\frac{\text{Tons. de agua}}{\text{Tns. de fibra hora}} = \text{T.A./T.F.H.} = 200 \%$
sobre fibra, como máximo.

ii) Imbibición compuesta : $\frac{\text{Tons. de agua}}{\text{Tons. caña hora}} = \text{T.A./T.C.H.} = 300 \%$
sobre caña , como máximo.

Para el presente trabajo se ha escogido: Imbibición compuesta de 200 por ciento sobre fibra, y de 93 % de eficiencia.

La extracción es muy importante dentro de la molienda, y básicamente depende de una manera general de muchos factores que a continuación mencionamos :

Estado de preparación de la caña , Presión hidráulica específica , La longitud de la batería, La velocidad de rotación, La imbibición,..etc

A) Influencia de la preparación de la caña.- Es tan importante que influye en la eficiencia del trabajo de los molinos, como equipos componentes de preparación de la molienda de caña ya mencionados anteriormente.

Según Hugot: (Pág. 244) , el incremento de extracción obtenido por los diversos equipos de preparación de caña es :

- Cuchillas $\Delta e = \frac{3}{N-6} \%$

- Desfibradora Searby $\Delta e = \frac{2.25}{N-8} \%$

- Desfibradora Maxwell $\Delta e = \frac{2.5}{N-8} \%$

- Desmenzadora $\Delta e = \frac{2.7}{N-6} \%$

Siendo : N = número de cilindros de la batería

B) Influencia de la Presión hidráulica específica (PHE).- Este factor es importante en los molinos porque mide la extracción en una batería al efectuar la compresión del colchón de bagazo.

La presión hidráulica específica varía entre 20 a 25 ton/dm².

Un valor estimado es : PHE = 15 ton/dm²

C) Influencia de la longitud de la batería.- Este factor sirve para comparar la variación gradual de la extracción y del jugo perdido % fibra (Fig. 11) en función del largo de la batería.

Donde, el jugo perdido % fibra es aproximadamente a :

$$J = 500/N \quad (17)$$

Siendo : N = número de molinos (en función de los cilindros)

Aproximadamente la extracción también se puede expresar:

$$e = 100 - 70/N \quad (18)$$

Estas fórmulas están basadas para una fibra reducida de 12.5 %

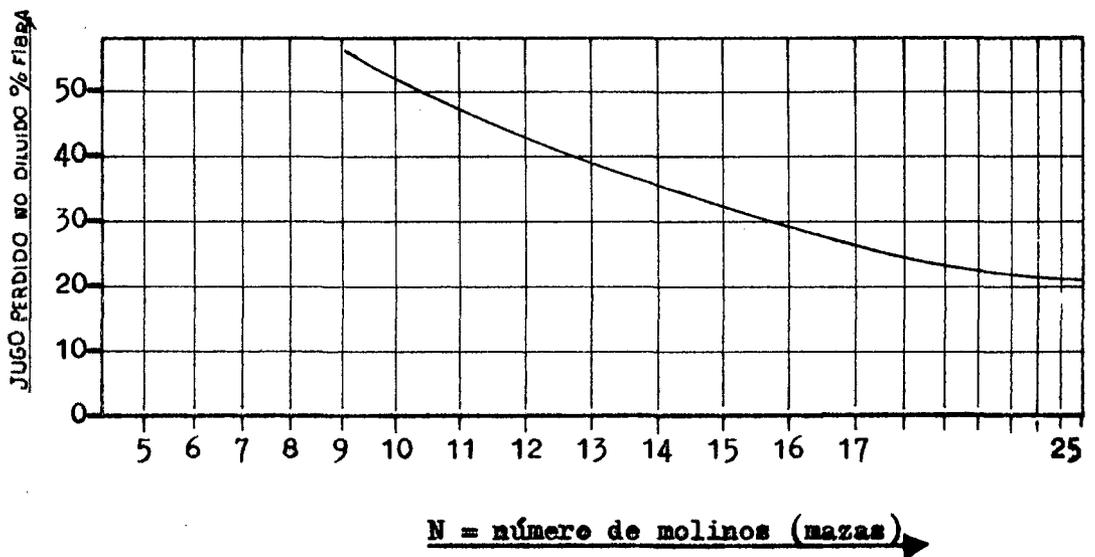


Fig. 11 Jugo no diluido perdido % fibra en función del número de ma zas : con $\lambda = 2$; $\beta = 0.60$

D) Influencia de la velocidad de rotación de las mazas.- Este factor influye del siguiente modo:

- Cuando la carga fibrosa permanece constante.
- Cuando el tenelaje de caña hora trabajada es constante.

En el 1er. caso, cuando se mantiene el mismo colchón de bagazo ó la carga fibrosa, la extracción disminuye cuando la velocidad aumenta: a partir de 6rpm, disminuye rápidamente; cercano a 5 rpm muy poco.

En el 2o. caso, cuando se mantiene constante el tonelaje de caña, la extracción aumenta pero muy poco junto con la velocidad de rotación.

La influencia de la velocidad, en un caso como en otro es pequeña y casi sin importancia con las velocidades que se utilizan actualmente.

E) Influencia de la carga fibrosa específica.- Este factor es importante, porque mide el colchón de bagazo que pasa por el molino y el porcentaje del trabajo que efectúa.

$$\text{La carga fibrosa específica: } CFE = \frac{q}{D} = \text{Kg/m}^3. \quad (19)$$

En función al trabajo de un molino:

$$CFE = 2.92c \sqrt{N} = \text{Kg/m}^3. \quad (20)$$

Donde :

q = carga fibrosa, en Kg/m².

D = diámetro de las mazas , en m.

c = coeficiente de los aparatos de preparación de caña.

N = número de cilindros de la batería.

La carga fibrosa específica, en la extracción mide la relación de trabajo del siguiente modo:

$$\theta = \frac{\text{tonelaje realmente trabajado}}{\text{tonelaje teórico de la batería}}$$

$$\theta = 0.34 \frac{CFE}{c \sqrt{N}} \quad (21)$$

Este porcentaje de trabajo (θ) mide la intensidad del esfuerzo que

demanda la batería:

$\theta < 1$, implica que el tandém no está cargada.

$\theta = 1$, implica el tandém normal.

$\theta > 1$, implica que el tandém está sobrecargada.

Por consiguiente la eficiencia del trabajo de los molinos disminuye, cuando la relación de trabajo (é porcentaje de trabajo) aumenta; como también cuando crece la CFE.

F) Influencia de la imbibición.- Es un factor importante para el rendimiento de extracción de los molinos en marcha.

Es fácil de medir y hacer variar este factor, sin problema alguno.

La extracción del molino de presión seca es entre 86 a 90 % aproximadamente (Fig. 9).

En la figura 12 ,se muestra una curva sobre la variación de la extracción en función de la imbibición con % fibra en caña de 15.

Igualmente en la figura 13, se muestra curvas para baterías más usuales; desde 11 cilindros hasta 17 cilindros, con un coeficiente de corrección $\beta = 0.60$, y con una imbibición compuesta doble , triple y cuádruple.

Estas curvas solamente indican promedios, para efectos de comparación.

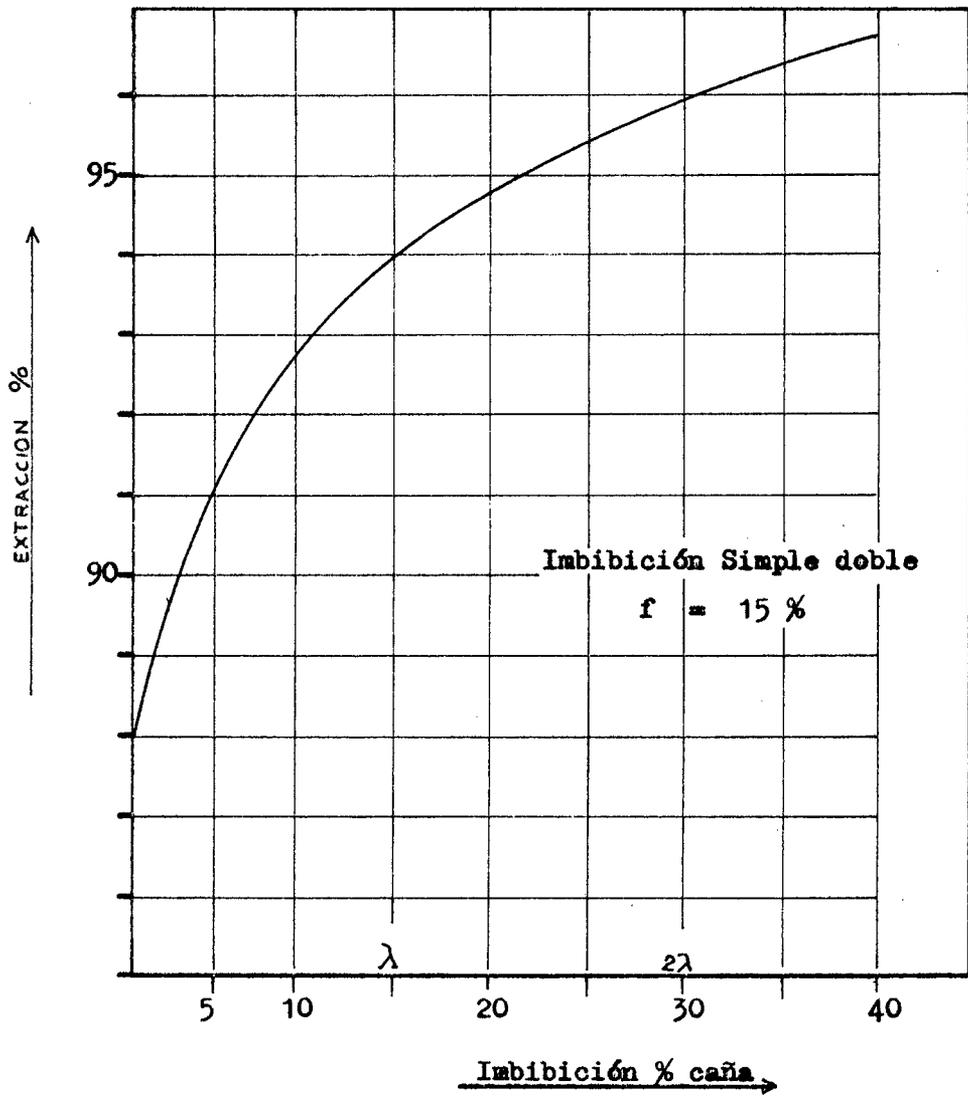


Fig. 12 Variación de la extracción en función de la imbibición.

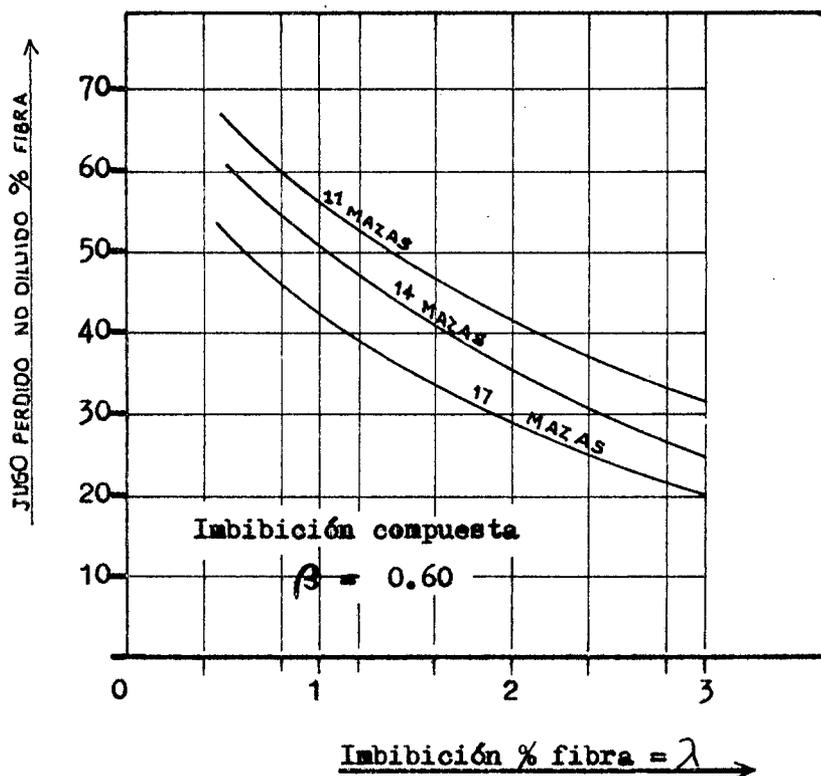


Fig. 13 Variación del jugo perdido % fibra en función de la imbib.

La eficiencia del trabajo de los molinos de una manera general se puede cuantificar mediante los siguientes parámetros:

- 1) AZUCAR % BAGAZO.-- Está en función de la riqueza de caña, de la humedad del bagazo y de la eficiencia de la batería.
- 2) PERDIDAS EN LOS MOLINOS.

$$\text{Pérdidas} = \frac{\text{azúcar en el bagazo \% caña}}{\text{fibra \% bagazo}} \times 100 \quad (22)$$

- 3) EXTRACCION.-- Importante en los molinos, para conocer la proporción de azúcar extraída.

$$\text{Extracción (e)} = \frac{\text{azúcar en el jugo mezclado \% caña}}{\text{azúcar \% caña}} \times 100 \quad (23)$$

Esta expresión es función de la fibra caña; esto es que, si la fibra es elevada es mayor la pérdida de azúcar en el bagazo, por :

Azúcar perdida en el bagazo % caña = Azúcar % bagazo por bagazo % caña

Por esta razón , los molinos que trabajan con alto % fibra de caña están en desventaja.

4) RELACION DE EXTRACCION.- Este factor, es más conveniente ya que no sólo corrige la riqueza , sino también la fibra; que es lo que más influye en la extracción.

$$Re = \frac{(100 - \text{extracción})}{\text{fibra \% caña}} \times 100 \quad (24)$$

5) JUGO PERDIDO % FIBRA.

$$\text{Jugo Perd. \% fibra} = \frac{\text{brix del bagazo} \times 10^3}{\text{brix del jugo 1rio.} \times \text{fibra \% bagazo}}$$

O:

$$\text{Brix del bagazo} = \frac{\text{azúcar \% bagazo}}{\text{pureza del jugo del último molino}}$$

Con esta expresión, es fácil de calcular sin la necesidad de ninguna pesada en el laboratorio y sin ningún coeficiente hipotético.

3.2. CONTROL DE LOS MOLINOS

Las escalas del brix, es uno de los medios para controlar el trabajo de los molinos en función al número de los molinos, tal como se muestra en la (Fig. 10).

3.2.1. ECUACION BASICA DEL CONTROL DE LOS MOLINOS

Sea :

WI = agua de imbibición % caña.

B = peso del bagazo % caña.

JM = jugo mezclado en peso % caña.

Bo = brix del jugo absoluto.

f = fibra por unidad de caña.

BM = brix del jugo mezclado.

b = materias solubles % bagazo.

F = fibra por unidad de bagazo.

QM = jugo mezclado % caña.

La ecuación está dada, en función a la cantidad en peso que entra a la batería debe ser igual al peso que sale, durante la molienda (Fig. 14).

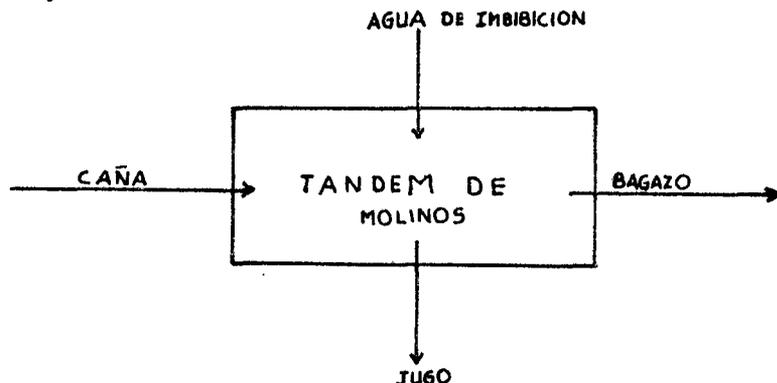


Fig. 14 Ecuación básica de los molinos.

Tomando 100 de caña :

Caña + Agua de imbibición = Jugo mezclade + Bagazo

$$100 + WI = JM + B \quad (26)$$

Esta ecuación matemática no se verifica con rigor por las siguientes razones :

- La pérdida de peso de las cañas en el patio es muy pequeña; menor del 1 %, y es variable por el factor tiempo de permanencia del clima que están expuestas al sol o lluvia, día o noche.
- La pérdida de peso del jugo en los molinos es del 3 al 4 % , debido que durante la misma molienda la superficie sobre la cual el jugo está expuesta a la evaporación se multiplica un gran número de veces; en el fondo y las paredes de la tolva, en la superficie de los cilindros, en la superficie del colchón de bagazo que es muy considerable, y en fin en toda las pequeñas corrientes por donde escurre el jugo.
- La pérdida de agua por evaporación no tiene importancia cuando se usa agua fría. Si la imbibición es por agua caliente, sí existe pérdida de jugo y hay que añadirla a la pérdida suplementaria del jugo calentado por mezcla durante la imbibición.

Pero para efectos de cálculo no está muy lejos de la verdad.

Considerando las pérdidas totales de caña de 3%, el peso del bagazo se puede determinar, despejando de la ecuación general (26).

$$B = 97 + WI - JM \quad (27)$$

Cálculo del brix del jugo absoluto de presión seca:

La cantidad de material en solución que entra = cantidad que sale

$$B_0 (1 - f) = QM.BM + b. \frac{f}{F}$$

$$B_0 = \frac{QM.BM + b. \frac{f}{F}}{1 - f} \quad (28)$$

La cantidad de fibra no varía al pasar la caña a través de los molinos; por lo tanto la fibra promedio se puede determinar por :

$$100 \times f = B \times F$$

$$f = \frac{B \times F}{100} = \frac{(100+WI-QM) \times F}{100}, \quad (29)$$

En esta ecuación falta considerar las pérdidas del peso de caña.

La importancia de la fibra en las cañas molidas en toda las centrales azucareras es fundamental; porque se utiliza en todo los cálculos, de rendimiento, capacidad, combustible, imbibición,..etc. Sin embargo conocemos muy poco y apenas sus propiedades físicas.

Creemos, en consecuencia, que sería muy importante al auge de la industria azucarera y de sus derivadas, conocer más profundamente las diversas densidades de las fibras, que ya actualmente se estiman entre 1.20 y 1.60, pero considerando la clase de caña, su edad y principalmente su proporción ponderal en la caña.

Como una primera aproximación se ha derivado una fórmula para estudios posteriores sobre la molienda, basada en la proporción de fibra

sin tener en cuenta clases, ni edades; establecida por la reglamentación de la junta azucarera de Puerto Rico del año de 1976, el valor de la densidad de caña como:

$$\text{Densidad fibra} = D = 0.80 + 0.04f \quad (30)$$

Siendo : f = fibra % caña

Tabla 2. Valor de la densidad fibra en función de fibra % caña

$f = \% \text{ fibra caña}$	$D = 0.80 + 0.04 f$
10	1.20
12	1.28
14	1.36
15	1.40
16	1.44
18	1.52
20	1.60

La obtención de la densidad fibra más exactos puede hacerse de la manera siguiente dentro del laboratorio: dividir la caña en trezos susceptibles de ser sumergidos en un recipiente de agua; determinar su peso total y averiguar su volumen por desplazamiento del agua del recipiente. Ya en posesión de la densidad de la caña y sin preocuparse por la pequeña absorción o dilución de los jugos de caña, moler esos trezos 2 o 3 veces en un molino de laboratorio, tomando el brix del jugo obtenido y, siempre que sea posible, corrigiéndolo al jugo total, reduciendo ese brix a la densidad correspondiente. Los bagazos obtenidos se tratarán como se acostumbra para la obtención del % fi

bra, pero empleándolos en su totalidad para obtener el peso de las fibras y poder establecer las siguientes ecuaciones :

$$\text{Densidad de caña} = D_c = \frac{\text{Peso caña}}{\text{Volúmen caña}} \quad (i)$$

$$\% \text{ fibra} = f = \frac{\text{Peso fibra} \times 100}{\text{Peso caña}} \quad (ii)$$

$$\text{Peso jugos} = \text{Peso caña} - \text{Peso fibra} \quad (iii)$$

$$\text{Volúmen jugos} = \frac{\text{Peso jugos}}{\text{Densidad jugos}} \quad (iv)$$

$$\text{Volúmen fibra} = \text{Volúmen caña} - \text{Volúmen jugos} \quad (v)$$

y finalmente.

$$\text{Densidad fibra} = \frac{\text{Peso fibra}}{\text{Volúmen fibra}} \quad (31)$$

O:

$$\text{Densidad fibra} = \frac{\text{Peso fibra} \times \text{Densidad jugos}}{\text{Volúmen caña} \times D_j - P_c + P_f}, \quad (31a)$$

Siendo : D_j = densidad jugos , P_c = peso caña , P_f = peso fibra

La extracción del jugo en una batería de molinos se puede clasificar en dos partes :

- 1) La fracción de jugo obtenida por la molienda seca: constituido por el 1er. molino (con o sin desmenuzadora) de la batería sin el agua de imbibición; a esta fracción se le llama "Extracción del jugo primario, normal o del jugo absoluto".

Sea :

S_a = % de pol del jugo primario.

S_b = % de pol del jugo secundario (de presión húmeda).

SM = % de pol del jugo mezclado.

e_a = extracción del jugo primario.

e = extracción total de la batería.

X = jugo primario por unidad de pol de jugo mezclado.

Q_1 = jugo primario por unidad de jugo mezclado.

$$1 \times SM = Q_1 \times S_a + (1 - Q_1) S_b \quad (a)$$

$$X = \frac{S_a \times Q_1}{SM \times 1} \quad (b)$$

$$Q_1 = X \cdot SM / S_a \quad (c)$$

$$\text{De, (a) : } Q_1 = \frac{SM - S_b}{S_a - S_b} \quad (d)$$

Igualando, (c) = (d) :

$$X = \frac{S_a (SM - S_b)}{SM (S_a - S_b)} \quad (32)$$

Por lo tanto la extracción del jugo primario se puede calcular por :

$$e_a = X e = e \cdot \frac{S_a (SM - S_b)}{SM (S_a - S_b)} \quad (33)$$

Es importante conocer la extracción del jugo primario dado por la molienda seca; aún que en la práctica varía dentro de límites muy an

plios de una batería a otra. Esto es que, cuanto mayor sea la extracción de azúcar al principio de la batería, tanto menos difícil será el trabajo de la extracción húmeda que permanece en los molinos siguientes y, por lo mismo, es mucho mejor la extracción final de la batería.

2) La fracción obtenida por la molienda húmeda: constituido por los molinos restantes de la batería con adición del agua de imbibición; a esta fracción se le denomina "Extracción del jugo secundario"

RELACION ENTRE LAS CANTIDADES DE JUGO OBTENIDOS POR LA MAZA DE ENTRADA Y EL DE SALIDA.- El cilindro de entrada extrae el jugo con un brix menor o más débil que el cilindro de salida; el cual extrae una parte del jugo encerrado en las células profundas.

Para que el molino trabaje bien es necesario que el cilindro de entrada extraiga el máximo de jugo.

La proporción de jugo extraído por la maza cañera esta dado por :

Sea ; B_e = brix del jugo de entrada o brix de la maza cañera.

B_s = brix del jugo de la maza bagacera.

B_t = brix del jugo total del molino.

x = proporción del jugo dado por el molino del cilindro de entrada.

$$xB_e + (1 - x)B_s = B_t$$

de donde :

$$x = \frac{B_s - B_t}{B_s - B_e}$$

El cilindro de entrada de los últimos molinos, bajo presión húmeda debe extraer alrededor de los $3/4$ del jugo y el de salida solamente $1/4$. Esto es que la proporción dada por el cilindro cañero será tanto más grande cuando la proporción de la imbibición del bagazo que recibe sea también elevada.

La polarización del bagazo que sale de un molino debe ser siempre inferior a la del jugo de la maza de salida de ese molino.

Esta diferencia, elevada en los tres molinos, disminuye en los siguientes; pero si los molinos están bien ajustados, la polarización del jugo de la maza de salida del último molino debe ser un poco mayor a la del bagazo. Si por el contrario, es menor, implica que la difusión del agua de imbibición en el bagazo deja mucho que desear.

Dado de una u otra manera, la relación entre la polarización del jugo y la polarización del bagazo obtenida por un molino, se tiene:

$$100S_r = 50S_c$$

considerando 50 % de fibra y el jugo extraído tiene la misma composición que el jugo encerrado; en consecuencia se tiene finalmente:

$$S_r = S_c/2 \quad (35)$$

donde; S_r = azúcar % bagazo , S_c = azúcar % del jugo contenido en el bagazo

Este resultado no se encuentra jamás, lo que deberá precaverse es:

$$S_r \neq S_c$$

Como habiamos establecido anteriormente, que la caña se paga por su riqueza. Con este fin, la relación de Java se utiliza en algunos países y se define como :

$$\text{Java Ratio} = \text{RJ} = \frac{\text{azúcar \% caña}}{\text{azúcar \% del 1er. jugo extraido}} \times 100$$

O:

$$\text{RJ} = \frac{\text{S} (1 - f)}{\text{Si}} \quad (36)$$

donde , S = azúcar % jugo absoluto , Si = azúcar % del 1er. jugo extraido

RELACION HAWAII.

$$k = \frac{\text{brix del jugo absoluto}}{\text{brix del 1er. jugo extraido}} \quad (37)$$

Esta relación es útil para calcular dentro de la fábrica, sin pesar el agua de imbibición ni el jugo mezclado.

Hawaii Ratio (k), es del orden de 0.96 a 0.98, mientras que Java Ratio es alrededor de 77 a 90 %.

Fórmula de ARCENAU :

$$k = 1 - 0.002 f \quad (38)$$

$$f = \text{fibra \% caña}$$

esta relación última permite usar con un buen grado de aproximación que el otro.

3.2.2. CALCULO DEL RENDIMIENTO DEL TREN DE MOLINOS (CONTROL DE MOL.)

El cálculo se ha efectuado por el procedimiento de la Asociación de Técnicos Azucareros del Hawaii, en el caso más crítico que es cuando no se conoce el peso del jugo, ni el peso del agua de imbibición.

El cálculo se efectúa entonces con los datos del laboratorio.

	Brix	Pol	Pureza	Agua	Fibra
Jugo primario	20.0	17.40			
Jugo mezclado	14.50	12.50	82.0		
Jugo residual			71.80		
Caña					16
Bagazo		2.40		50.0	

Valores expresados en porcentaje.

$$k = 1 - 0.00 f = 1 - 0.002(16) = 0.968$$

1. BAGAZO:

$$\text{Materias en solución \% bagazo} = \frac{2.40 \times 100}{71.80} = 3.34$$

$$\text{Fibra \% bagazo} = 100 - (50 + 3.34) = F = 46.66$$

$$\text{Peso del bagazo \% caña} = \frac{16 \times 100}{46.66} = 34.29$$

$$\text{Azúcar en el bagazo \% caña} = \frac{34.29 \times 2.4}{100} = 0.82$$

2. JUGO ABSOLUTO: Brix del jugo absoluto = 20 x 0.968 = 19.36

$$\text{Jugo extraído \% del jugo en la caña} = 100 - \frac{100(34.29)(3.34)}{(100 - 16)19.36}$$

$$= 92.95$$

$$\text{Pureza del jugo absoluto} = \frac{92.95(82) + (100 - 92.95)71.8}{100}$$

$$= 81.30$$

$$\text{Azúcar \% jugo absoluto} = \frac{19.36 \times 81.3}{100} = 15.74$$

3. CAÑA:

$$\text{Azúcar \% caña} = \frac{(100 - 16)15.74}{100} = 13.22$$

4. TRABAJO O RENDIMIENTO DE LOS MOLINOS:

$$\text{Extracción \% caña} = 13.22 - 0.82 = 12.40$$

$$\text{Extracción \% azúcar en la caña} = \frac{12.40(100)}{13.22} = 93.80$$

$$\text{Jugo absoluto extraído \% caña} = \frac{(100 - 16)93.80}{100}$$

$$= 78.80$$

$$\text{Jugo \% mezclado caña} = \frac{78.8 \times 19.36}{100 \times 14.50}$$

$$= 105.2$$

$$\text{Imbibición \% caña} = 105.2 + 34.29 - 100$$

$$= 39.49$$

Agua de imbibición que entra en el jugo mezclado(JM).	=	105.2 - 78.80	=	26.40
Agua de imbib. que entra en el bag.	=	39.49 - 26.40	=	13.09
Jugo no diluido perdido % fibra.	=	$\frac{3.34 \times 10^3}{20 \times 46.66}$	=	35.80
Relación de extracción.	=	$\frac{(100 - 93.80)100}{16}$		
	=	38.75 %		
Pérdida en los molinos.	=	$\frac{2.40 \times 100}{46.66}$	=	5.14 %
Java Ratio.	=	$\frac{13.22(100)}{17.40}$	=	76.0 %

Este cálculo se efectua en el laboratorio para cada informe semanal; sin embargo el conocimiento de la fibra de caña es variable y aún así este cálculo es más conveniente a pesar de sus inconvenientes.

Se denomina "EXTRACCION REDUCIDA", a aquella extracción en donde la fibra de caña fuera la fibra estándar, convencionalmente en 12.5%, convertida teóricamente por la batería de molinos.

$$E = 1 - (1 - e) \frac{1 - f}{7f} \quad (39)$$

donde : e = extracción con cañas tipo (f)

E = extracción reducida con cañas tipo fibra de 12.5 %

3.3. AJUSTE DE BALANCES DE MATERIALES EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.- Se plantea una metodología de cálculo para el balance de materia - les de una central azucarera, en el cual se toman en cuenta los erro - res de las mediciones que se realizan en la fábrica, además, se se - leccionan los puntos de medición, que permiten obtener una mejor in - formación para los cálculos de balance de materiales.

En la actualidad se han desarrollado numerosos trabajos sobre la pro - blemática de balance de materiales utilizando datos de fábrica, como: Václavek, en Checoslovaquia (Gerulova M. 1975) y Murry Holt .

El cálculo de balance de materiales de un esquema tecnológico, es una tarea bastante compleja y más aún si se pretende realizar con la in - formación obtenida en la fábrica. Evidentemente si un esquema tecno - lógico, medimos o caracterizamos todas las corrientes, o sea, las que entran y salen de los diferentes equipos, no es sorprendente en - contrarnos ante el hecho que al sustituir los datos en las relacio - nes de balance éstas no se cumplan, existiendo un desbalance en cada una de las unidades del esquema. Ante esta realidad, generalmente se trata de cuadrar el balance de materiales utilizando criterios subje - tivos basados en la experiencia y conocimientos tecnológicos que po - sea el técnico que realiza los cálculos o atribuyendo el desbalance a la existencia de pérdidas en el proceso. En todo proceso tecnoló - gico ocurren una serie de pérdidas y que en la industria azucarera se deben, por ejemplo, a la inversión de la sacarosa; pero el hecho que el balance no cuadre no es atribuible solamente a esta realidad ya que existen otras causas como son los errores en las mediciones realizadas. Estos errores, que se introducen en la obtención de la información, son fundamentalmente, errores de muestreo en los méto -

dos analíticos, en la precisión de los instrumentos, etc. Al no tomar en cuenta estos errores al ejecutar los cálculos, los resultados obtenidos del balance no serán los adecuados para la evaluación del trabajo de una fábrica.

En este trabajo, se realizará el cálculo del balance de materiales tomando en cuenta los errores en las magnitudes medidas con el objeto de obtener de una manera confiable la información necesaria para la estimación de los parámetros del modelo matemático de la extracción en la batería.

De acuerdo con los trabajos realizados (Václavek, 1975), las corrientes en todo esquema tecnológico se clasifican en medibles y cuyos valores se determinan en base a la selección de los puntos de medición dependiendo por su puesto, como se encuentran interconectadas las diferentes unidades que lo constituyen, existiendo reglas muy precisas que determinan dada una estructura definida de un sistema, que es indispensable medir y qué se puede calcular, como en la estructura que se encuentra representada en la Fig. 15.

El esquema de la Fig. 15, posee en su totalidad 41 corrientes, representadas por las de vapor y agua. Debido a que el balance que se realiza es de Pol, estas corrientes no se tomarán en cuenta; y para simplificar la ejecución de la tarea, dividiremos el esquema de la figura global de planta en dos secciones :

- Sección de evaporación y molienda (Fig. 16), comprendida desde la molienda hasta la evaporación.
- Sección de casa de calderas (Fig. 17), comprendida desde la dis -

tribución de meladura hasta la purga de masa cocida.

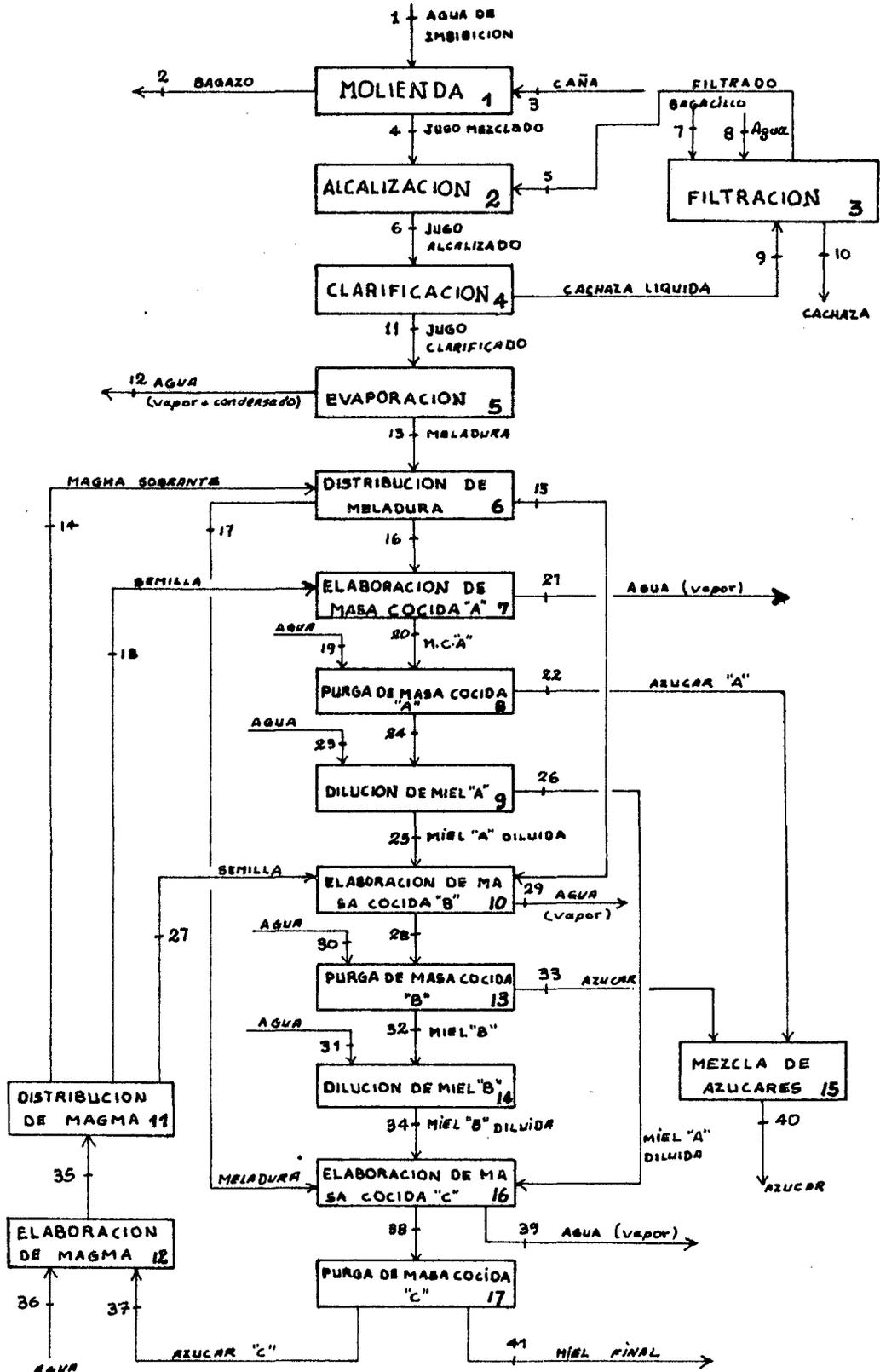


Fig. 15 Estructura general de ubicación de las unidades de planta

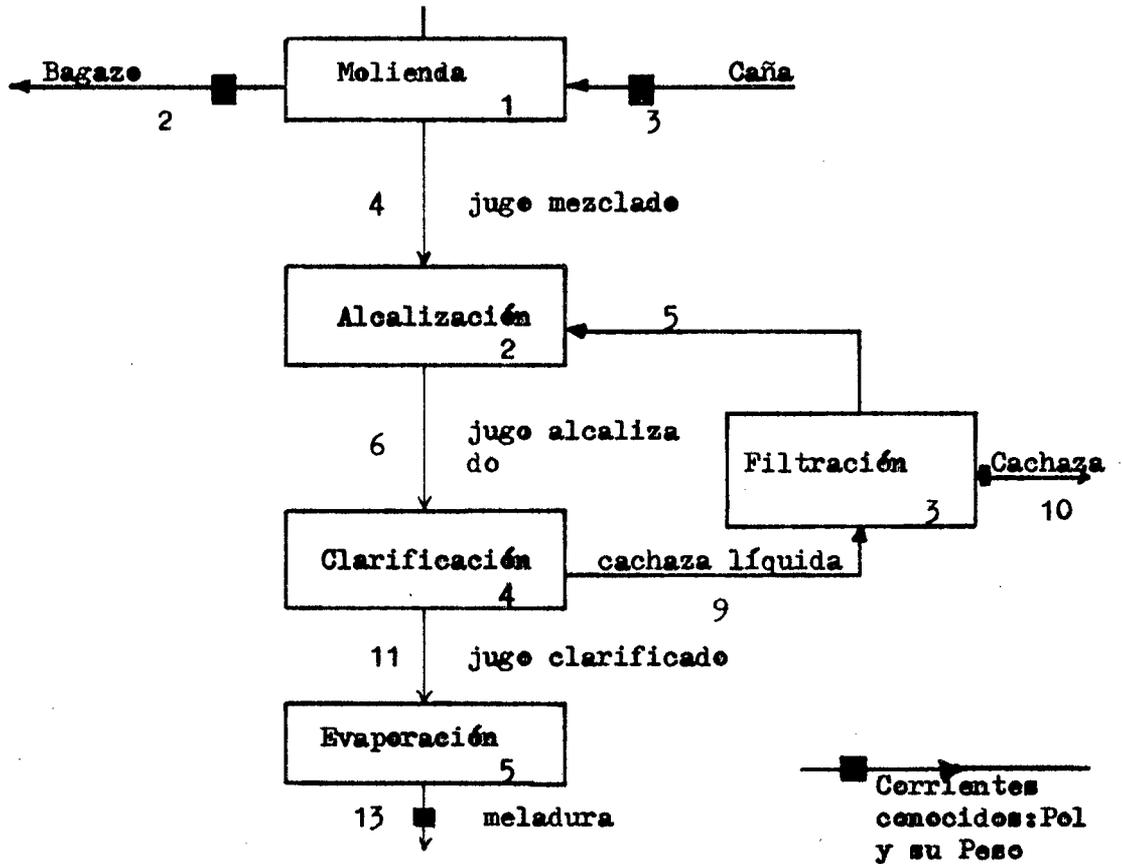


Fig. 16 Sección de Evaporación y Molienda

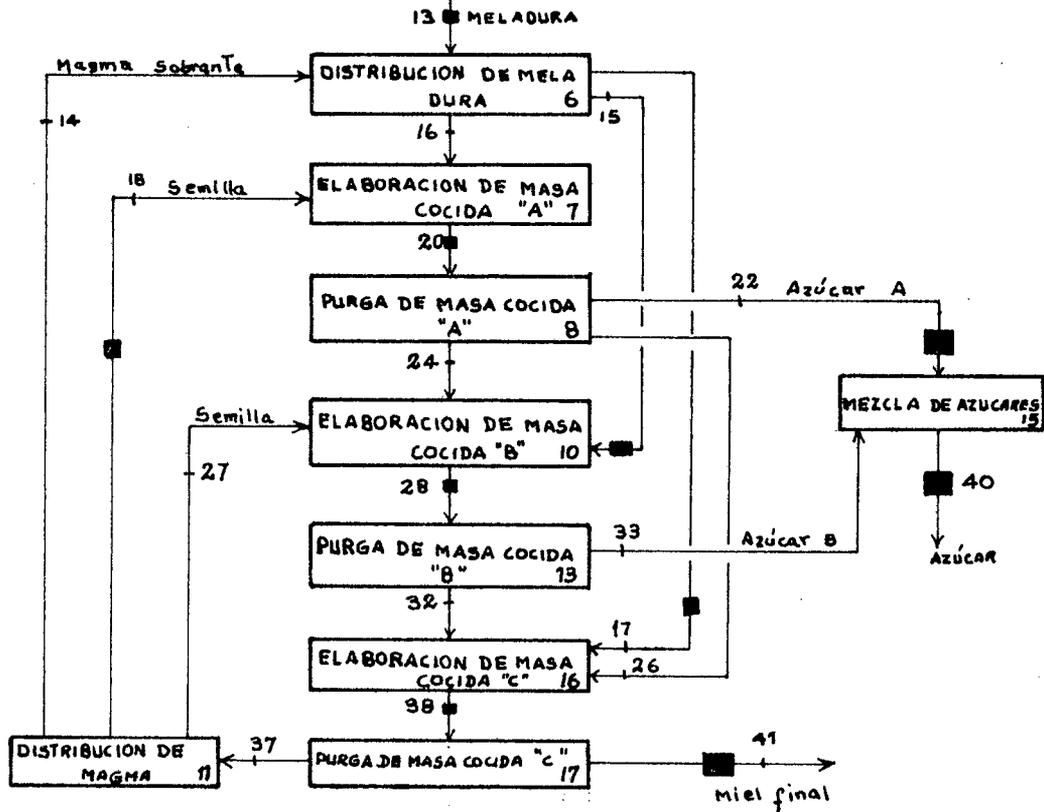


Fig. 17 Sección de casa de Calderas

En la sección de la Fig. 16 , es necesario conocer la cantidad total de Pol en caña en bagazo y en meladura, esto implica conocer el contenido de pol mediante análisis de laboratorio y flujos medidos.

En la segunda sección (Fig. 17), es necesario además de conocer el pol de la meladura y su peso, determinar la cantidad de azúcar y miel final o sea sus valores respectivos en peso y pol. El conocimiento de estas corrientes permitirá conformar un balance global en toda la sección.

Una vez seleccionados los puntos de medición, resolveremos el balance de materiales global de todo el central (Fig. 18).

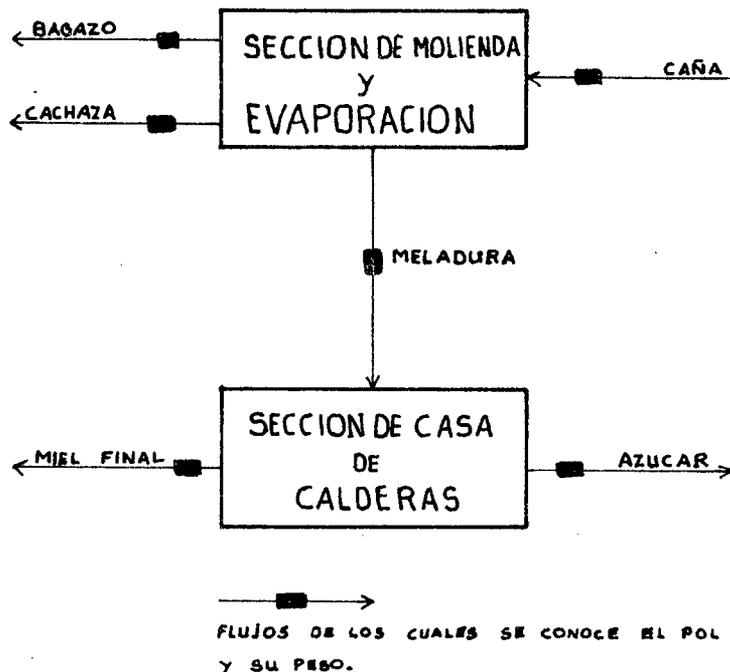


Fig. 18 Esquema para el balance total del Central

El sistema de ecuaciones de dicho esquema es el siguiente :

$$(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)L_1 - q_4L_2 = -h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (40)$$

$$-q_4L_1 + (q_4 + q_5 + q_6)L_2 = -h_4 + h_5 + h_6 \quad (41)$$

donde : L_1 y L_2 , son incógnitas

L_1 y L_2 = son los multiplicadores de Lagrange

q_1 a q_6 = son los pesos estadísticos, funciones de la precisión con que se han realizado las mediciones

h_1 a h_6 = las mediciones realizadas o sea el producto de la determinación analítica de pol en el material por la cantidad de éste.

Para resolver este sistema de ecuaciones se deberá conocer los siguientes datos, como : peso y pol de la caña, bagazo, cachaza, meladura, miel final y el peso , pol del azúcar; como también el error relativo entre 0.5 a 1.5 %.

Para poder visualizar con más claridad el tema que se ha expuesto, podemos clasificar las corrientes de un esquema tecnológico en las siguientes cuatro categorías:

1. Conocido el flujo y la composición
2. Cuando no se conoce el flujo pero sí la composición
3. Conocido el flujo, desconocida la composición
4. Cuando no se conoce ni el flujo ni la composición

Plantearémos el balance de materiales para el caso (1) y se realicen correcciones a éstos, pues consideramos que las mediciones en las concentraciones deberán ser bien precisas.

Antes de plantear las ecuaciones de balance, es conveniente aclarar el significado de una serie de términos utilizados en este trabajo.

Cuando se hace referencia a un node se trata de una unidad del esquema tecnológico, esto es que en la batería los nodes serán los molinos y la desmenuzadora y sirven para plantear las ecuaciones de balance en forma general, ya que permite identificar si una corriente sale, entra o no se halla presente en el node. Esto se logra dando a los elementos de dicha matriz los valores + 1 si entra en el node, - 1 si sale y cero si no se encuentra presente.

De acuerdo al modelo matemático de MITTAL HOLT, lo que entra es igual a lo que sale en cada uno de los nodes, se plantea las siguientes ecuaciones teóricas para los flujos totales y de los diferentes componentes.

Para cada uno de los componentes :

$$f(k) = \sum_{j=1}^f A_{kj} C_{ij} X_j + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} C_{ij} h_j = 0 \quad (42)$$

para $j = 1 \dots r$
 $i = 1 \dots n$

Para los flujos totales :

$$g(k) = \sum_{j=1}^f A_{kj} X_j + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} h_j = 0 \quad (43)$$

para $k = 1 \dots r$

donde:

A_{kj} = elemento de la matriz de incidencia

C_{ij} = concentración del componente i.

h_j = flujo calculado

X_j = flujo no calculado

V_j = corrección de los flujos, medida en la corriente j.

l_j = valor medido del flujo total, en la corriente j.

$$X_j = l_j + V_j \quad (i)$$

Sustituyendo la ecuación (i):

$$f(k) = \sum_{j=1}^f A_{kj} C_{ij} (l_j + V_j) + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} C_{ij} h_j = 0 \quad (44)$$

$$g(k) = \sum_{j=1}^f A_{kj} (l_j + V_j) + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} h_j = 0 \quad (45)$$

Como la corrección V_j , se debe efectuar tomando en cuenta la precisión del parámetro; entonces para ello definimos la función objetivo:

$$F = \sum_{j=1}^f P_j V_j^2 \quad (ii)$$

El objetivo del cálculo será hallar los valores de las correcciones V_j y de las incógnitas h_j que hagan mínima la ecuación (ii), ya que ésta representa la suma de los cuadrados de las correcciones a los parámetros medidos.

Optimizando la ecuación y haciendo restricciones para su solución se utilizará el método de los multiplicadores de Lagrange.

Multiplicando las ecuaciones (44) y (45) por $-2A_{ki}$, y $-2L_k$ y sumando a la (ii), obtenemos:

$$F = \sum_{j=1}^f P_j V_j^2 - 2 \sum_{k=1}^r L_k \left[\sum_{j=1}^f A_{kj} (l_j + V_j) + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} h_j \right] - 2 \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^n \Delta_{ki}$$

$$\left[\sum_{j=1}^f A_{kj} C_{ij} (l_j + v_j) + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} C_{ij} h_j \right] \quad (46)$$

Las condiciones necesarias para un mínimo de la ecuación (46), son:

$$\frac{\partial F}{\partial v_j} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial \Delta k_i} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial L_k} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial h_j} = 0$$

Derivando la ecuación (46), obtenemos:

$$v_j = q_j \left[\sum_{k=1}^r L_k A_{kj} + \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^n k_i A_{kj} C_{ij} \right]; \text{ para } j=1 \dots f \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^f A_{kj} C_{ij} q_j \left[\sum_{k=1}^r L_k A_{kj} + \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^n k_i A_{kj} C_{ij} \right] + \sum_{j=1}^f A_{kj} C_{ij} l_j + \\ + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} C_{ij} h_j = 0 \quad (48) \\ \text{para } k = 1 \dots r \\ i = 1 \dots n \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^f A_{kj} q_j \left[\sum_{k=1}^r L_k A_{kj} + \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^n k_i A_{kj} C_{ij} \right] + \sum_{j=1}^f A_{kj} l_j + \sum_{j=1+f}^m A_{kj} h_j = 0; \quad (49) \\ \text{para } k = 1 \dots r$$

$$\sum_{k=1}^r L_k A_k + \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^n k_i A_{kj} C_{ji} = 0 \quad ; \quad j = 1 + f \dots m \quad (50)$$

donde : $q_j = 1/P_j$

Por consiguiente, la solución conjunta de las ecuaciones (48), (49), (50) nos permitirá encontrar los valores de las incógnitas h_j , L_k , Δk_i

y por consiguiente las correcciones a las corrientes medidas.

En la fig. 19 se muestra el diagrama de molinos y se señalan los puntos de medición.

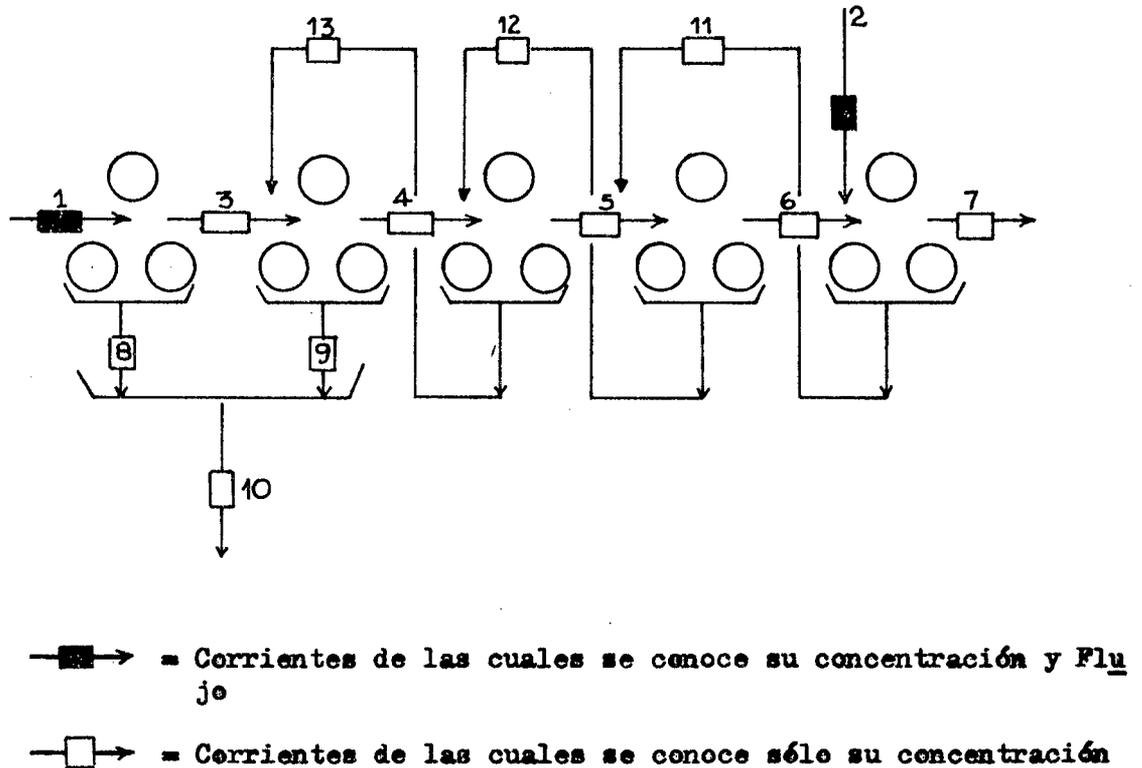
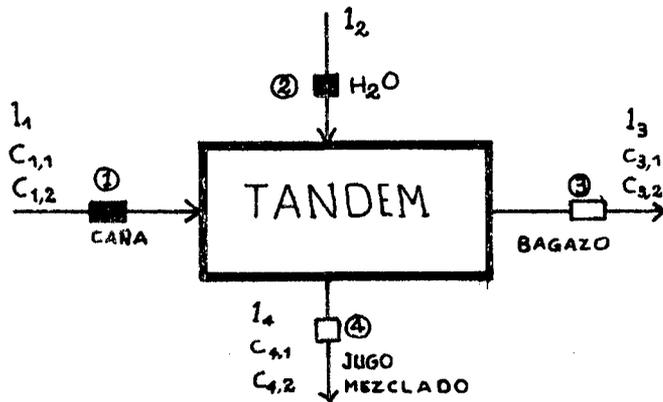


Fig. 19 DIAGRAMA DEL TANDEM DE MOLINOS

Como podemos apreciar que las corrientes que son corregidas son el peso de jugo en la caña y el agua de imbibición. Esto nos permite plantear primeramente un balance total de la batería (Fig. 20) con el cual se calcula los valores del jugo en el bagazo y del jugo mezclado y las correcciones al jugo de la caña y al agua de imbibición. una vez obtenidos estos valores se realiza el cálculo de balance en cada uno de los nodos del esquema para caracterizar las corrientes intermedias de éste.

Fig. 20 Diagrama Para el Balance Total del "TANDEM"



$C_{1,1}$ = Pol del jugo de caña.

$C_{1,2}$ = Brix del jugo de caña

$C_{3,1}$ = Pol del jugo en el bagazo

$C_{3,2}$ = Brix del jugo en el bagazo

$C_{4,1}$ = Pol del jugo mezclado

$C_{4,2}$ = Brix del jugo mezclado

l_j = l_1, l_2, l_3, l_4 = valor del parámetro medido

H_2O = Agua de imbibición.

A continuación, se muestran los datos medidos en el central y utiliza en los cálculos, (como un ejemplo de ilustración).

CUADRO DE DATOS PARA EL CALCULO OBTENIDOS DEL LABORATORIO

P_c (Tons.)	P_{jc} (Tons.)	WI (Tons.)	CAÑA		JGO. MEZC.		BAGAZO	
			Pol	Brix	Pol	Brix	Pol	Brix
18.980	15.9432	4.9583	18.3	21.4	17.5	19.0	3.5	7.5

Con % fibra en caña: $f = 16$

Donde :

$$P_{jc} = \text{peso del jugo de la caña} = P_c (1 - f/100) , \quad (A)$$

P_c = peso de la caña, en toneladas

W = peso del agua de imbibición (H_2O), en tons,

Cálculo de errores:

$$\Pi = \frac{\Delta}{l}$$

El valor de P_j para la caña como para el agua de imbibición se calcula por la siguiente fórmula:

$$P_j = \frac{1}{\Pi^2 l^2} = \frac{1}{\Delta^2}$$

donde:

Π = error relativo

Δ = error absoluto

l = valor del parámetro medido

P_j = peso de la medición del flujo total a la corriente j .

Para calcular el error absoluto del peso del jugo de la caña (P_{jc}) haremos mediante la fórmula de propagación de errores, ya que conocemos el error absoluto del peso de la caña y el de la determinación de fibra.

$$\Delta P_{jc} = \frac{\partial P_{jc}}{\partial P_c} \Delta P_c + \frac{\partial P_{jc}}{\partial F} \Delta F \quad (51)$$

siendo: P_{jc} = función objetivo , P_{jc} = peso del jugo caña, P_c = peso caña

en la ecuación (51), $F = f = \% \text{ fibra caña}$.

Obteniendo las derivadas en la ecuación (A) y evaluándolas calcula-

mos Δp_{jc} y por consiguiente P_j . Esto es el error absoluto del peso caña, el error absoluto del peso del agua de imbibición, el error absoluto del % de fibra, etc.

Para el agua de imbibición, se toma 1.5 % de error relativo.

Tomando en cuenta entonces los errores en la determinación del peso de la caña y la medición del agua de imbibición, se plantea una solución única aplicando las ecuaciones (48), (49), (50) para el esquema de la Fig. 20 un sistema de ecuaciones siguientes:

$$\begin{bmatrix}
 q_1 q_2 & C_{1,1} q_1 & C_{2,1} q_1 & 1 & 1 & L & -l_1 + l_2 \\
 C_{1,1} q_1 & (C_{1,1})^2 q_1 & C_{1,1} C_{2,1} q_1 & C_{1,4} & C_{1,3} & \Delta_1 & -C_{11} l_1 - C_{1,2} l_2 \\
 C_{2,1} q_1 & (C_{1,1} C_{2,1} q_1) & (C_{2,1})^2 q_1 & C_{2,4} & C_{2,3} & \Delta_2 & -C_{21} l_1 - C_{22} l_2 \\
 1 & C_{1,3} & C_{2,3} & 0 & 0 & -h_4 & 0 \\
 1 & C_{1,4} & C_{2,4} & 0 & 0 & -h_3 & 0
 \end{bmatrix} =$$

(52)

donde : las incógnitas son $L, \Delta_1, \Delta_2, h_4,$ y h_3 ; los demás son medibles.

Segun MITTAL HOLT, las relaciones para las variables $h_3,$ y h_4 son:

$$h_3 = 0.295l_1 + 0.0182l_2 \quad , \quad y \quad , \quad h_4 = 0.96l_1 + 0.047l_2 ; \quad (53)$$

En el presente acápite se ha introducido la metodología de como realizar el cálculo de balance de materiales en la batería de molinos, con

la única intención de mejorar los resultados confiables para una evaluación correcta del trabajo de la fábrica en el futuro y posteriormente determinar los coeficientes del modelo de extracción.

SIMBOLOGIA.- A continuación damos las simbologías utilizadas en las ecuaciones (48), (49) , (50) :

L_k = multiplicador de Lagrange asociado a la ecuación de balance de los flujos totales en el nodo k.

k_i = multiplicador de Lagrange asociado a la ecuación en el nodo k, del componente i.

m = número de corrientes totales en el esquema

n = número total de componentes en las corrientes.

r = números de nodos en el esquema

h_j = valor no medido del flujo total en la corriente j.

i = sub-índice componente

j = sub-índice de la corriente

k = sub-índice del nodo

C_{ij} = concentración del componente i, en la corriente j.

f = número de corrientes medidas en el esquema

A_{kj} = elemento de la matriz de incidencia

l_j = valor medido del flujo total en la corriente j.

X_j = valor corregido del flujo total medido en la corriente j.

C A P I T U L O IV

EVALUACION DE PARAMETROS

4.0. ACUMULADOR HIDRAULICO.- Es un dispositivo capaz de almacenar energía de presión en un fluido. Este, es, sirve como depósito para almacenar fluido, en tanto que admite cambios en el volumen (el fluido siempre está a presión dentro del acumulador).

Las funciones que cumplen los acumuladores en un circuito hidráulico son las siguientes:

- En el caso de falle de una bomba, el acumulador se convierte un elemento auxiliar para suministrar fluido a presión.
- Suministrar fluido adicional a presión para las puntas de demanda de energía.
- Sirve de recipiente para reposición de fluido o compensación.
- Absorbe los golpes de ariete en el sistema (útil para cualquier finalidad).
- Sirve como dispositivo auxiliar y de control de la presión para la sincronización de movimientos.

Existe una diversidad de acumuladores; siendo el más versátil y compacto para nuestro trabajo, es el acumulador EDWARDS, é acumulador de vejiga o de diafragma (Fig. 21).

ACUMULADORES HIDRAULICOS DE VEJIGA.- Estos acumuladores son los más utilizados generalmente en la actualidad, por su volumen reducido en el espacio a ocupar y por las grandes presiones de carga a que se presta. Este sistema garantiza, en primer lugar, una perfecta separa

cién entre la cámara correspondiente al gas y la destinada al fluido .

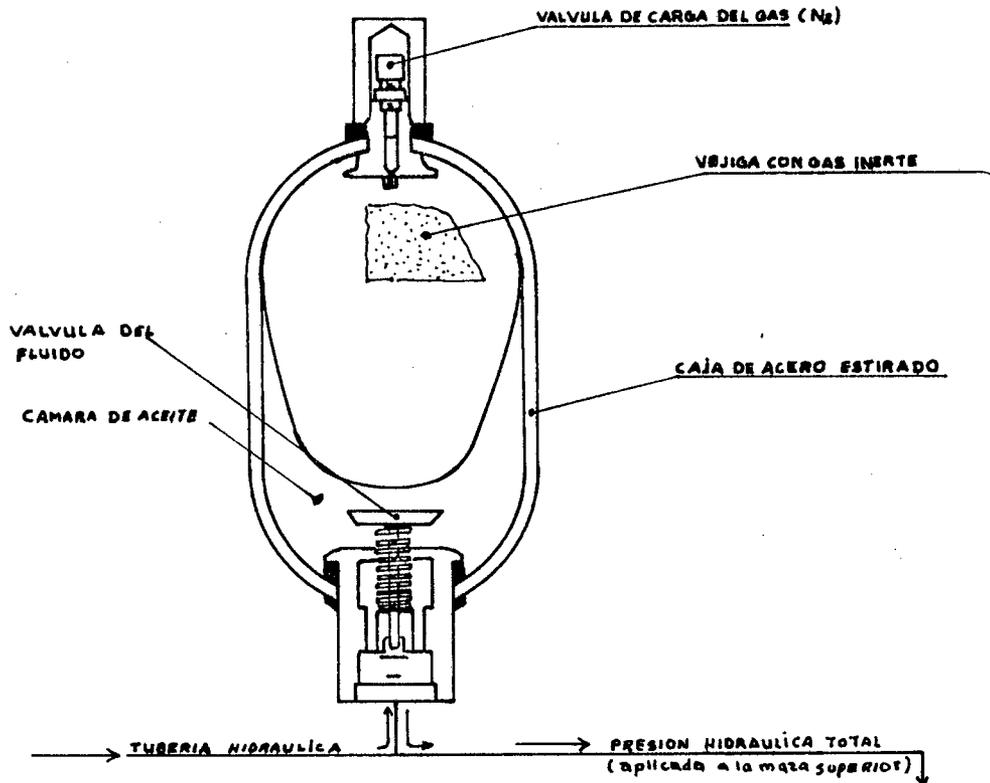


Fig. 21 Acumulador de Vejiga oleoneumático

Esta constituye por un recipiente cilíndrico exterior, con tapas --- semiesféricas, estirado o forjado para que no haya uniones mecánicas ni soldaduras. Dentro de ella va colocada una vejiga elástica o menbrana de goma sintética (normalmente de caucho nitrilo), compatible con el fluido hidráulico utilizado.

La vejiga se coloca durante el montaje por el orificio grande que --- aleja la válvula de carga, que es fijada en la parte superior de la carcasa con una tuerca de precisión. La válvula de carga seta tiene un gran rendimiento volumétrico y también sirve para que la vejiga -- hinchada no se extruya cuando el fluido no está bajo presión, o cuando se extrae todo el aceite.

La lumbrera de aceite se halla en la parte inferior del recipiente y

se cierra con una junta en O; el montaje permite que la boca del recipiente, en su parte inferior, se separe para una presión inferior a la presión teórica del recipiente, como medida de seguridad. El orificio de la válvula es grande para que el aceite circule libremente y para poder sacar la vejiga para su inspección o sustitución.

Entre otras medidas de seguridad se encuentra una protección que impide que la válvula de descarga de fluido se abra cuando todavía hay presión residual en la vejiga.

La vejiga en funcionamiento se carga con un gas inerte, en este caso con nitrógeno (que se toma de una botella normal de nitrógeno comprimido) hasta la presión de precarga especificada y se bombea fluido a la cámara principal, para comprimir la bolsa.

La vejiga se llena también con aire o nitrógeno.

Los acumuladores de vejiga son apropiados especialmente para aceites pero también admiten otros fluidos siempre que sean compatibles con el material de la vejiga. Para fluidos a base de agua hay que someter a tratamiento la carcasa de acero para eliminar la corrosión.

Es raro que en los modelos actuales falle la vejiga; si este ocurre, es debido a que la carga ha sido incorrecta o se ha producido aplastamiento, por haber dejado caer la presión hasta un nivel peligroso.

Los acumuladores de vejiga son los más adaptables, siendo así mismo eficaces para almacenar energía, para absorber golpes de ariete, para retención y como depósitos (para relleno y reposición de fluido en los cambios de temperatura). También amortiguan eficazmente las pulsaciones de la bomba y se utilizan mucho como muelles hidroneumáticos -

cos, como alimentadores de fluido a presión y como barreras de transferencia entre dos fluidos.

En el presente trabajo nos ocuparemos de los acumuladores que usan un gas como elemento de reacción elástica, nitrógeno: por que cuya inactividad química excluye todo fenómeno de combustión o de explosión (fenómeno Diesel, siempre posible en presencia de aire comprimido y de aceite) y no determina el envejecimiento de la goma sintética de juntas, vejigas o diafragmas. La carga con aire se acepta sin más cuando los acumuladores se instalan en circuitos a base de agua, mientras que el empleo del oxígeno debe excluirse siempre por tratarse de un gas químicamente bastante activo.

Las condiciones de carga de trabajo del gas (nitrógeno) y del fluido (aceite) es :

La presión del gas de precarga siempre es muy inferior a la del aceite.

Las relaciones de compresión son hasta 5:1, según las particularidades de la instalación.

La presión nominal de trabajo con este tipo de acumuladores alcanza los 210 Kg/cm² (3000 psi) aunque hay otros modelos del mismo tipo para presiones de hasta 350 a 420 Kg/cm² (5000 a 6000 psi).

Estos acumuladores son de presión variable durante la carga y la descarga.

4.0.1. SELECCION Y CALCULO DEL ACUMULADOR HIDRAULICO DE VEJIGA.- Para las aplicaciones oleodinámicas, un acumulador de gas comprimido se calcula bajo las siguientes ecuaciones:

1. Proceso isotérmico (ley de Boyle): $P_0.V_0 = P_1.V_1 = P_2.V_2 = \text{cte.}$

$$V_a = V_1 - V_2 = \frac{V_0.(P_2 - P_1)}{P_2} (P_0/P_1) , \text{ en litros.}$$

haciendo; $\frac{P_0}{P_1} = Z = (0.5 \text{ a } 0.9) = \text{factor de compresibilidad del gas.}$

despejando V_0 , se tiene :

$$V_0 = \frac{V_a.P_2}{Z(P_2 - P_1)} , \text{ en litros.} \quad (53)$$

Siendo: $P_2 = \text{presión máxima, en Kg/cm}^2$

$P_1 = \text{presión mínima, en Kg/cm}^2$

$P_0 = \text{presión de carga del acumulador, o del gas introducido en la vejiga antes de aplicar ninguna presión del aceite.}$

$V_a = \text{volumen del aceite que se quiere introducir (y luego extraer).}$

$V_0 = \text{volumen total del acumulador.}$

$V_1 = \text{volumen final.}$

$V_2 = \text{volumen inicial.}$

Esta ecuación da resultados satisfactorios para tiempos de carga o descarga superiores a unos 3'.

2. Proceso adiabático (a calor cte.): $P.V^{1.4} = \text{cte.}$

$$P_0.V_0^{1.4} = P_1.V_1^{1.4} = P_2.V_2^{1.4} = \text{const.}$$

$$V_a = \frac{V_o \cdot (P_2^{0.72} - P_1^{0.72})}{P_2^{0.72}} \left(\frac{P_o}{P_1} \right)^{0.72} = V_1 - V_2$$

Despejando V_o , y haciendo $Z = P_o/P_1$, se tiene:

$$V_o = \frac{V_a \cdot P_2^{0.72}}{Z^{0.72} (P_2^{0.72} - P_1^{0.72})}, \text{ en litros} \quad (54)$$

Esta ecuación se cumple para el ciclo de carga o descarga bastante breve, inferior a un 1'.

En numerosas ocaciones el comportamiento real del gas está entre el de los dos casos límite, pero es evidente que el cálculo adiabático dará siempre un margen de seguridad.

En el campo de los acumuladores de vejiga elástica existen normalmente tipos para presiones máximas, dentro de una gama de volúmenes V_o que va desde una fracción de litro hasta 50 litros (excepcionalmente incluso más).

Para la elección correcta de un acumulador de vejiga a utilizar como reserva de energía deben respetarse el criterio general que prescribe para las relaciones entre las presiones P_o , P_1 y P_2 absolutas:

$$0.25 P_2 \ll P_o \ll 0.9 P_1 \quad (55)$$

$$\frac{P_2}{P_1} \ll 3 \text{ a } 3.5 \quad (56)$$

Las tablas 3 y 4 que adjuntamos expresan gráficamente las fórmulas (53) y (54). Es evidente que en los diagramas respectivos las pre

siones P_0 , P_1 y P_2 son "efectivas" (por encima de la presión atmosférica), mientras tanto que en las fórmulas mencionadas, las presiones P_0 , P_1 y P_2 son "absolutas". Por tanto que para hallar V_a o V_o , se operará con valores absolutos, por lo menos hasta presiones de unos 15 Kg/cm²; por encima de este límite es prácticamente despreciable el error que se comete expresando las presiones efectivas.

En la tabla 3 y 4 respectivamente el valor de la presión está expresado en Kp/cm²: pero, $Kp = 9.81 \text{ N (SI)}$.

$$\text{entonces; } Kp/cm^2 = \frac{9.81 \text{ N}}{cm^2} = Kg/cm^2$$

CALCULO DEL ACUMULADOR.

$$P_2 = \text{presión de servicio máximo (70 a 350 Kg/cm}^2) = 310 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R_c = \frac{P_2}{P_0} = (5:1) = \text{relación de compresión} = 4.13$$

$$P_0 = P_2/R_c = \text{presión del gas (nitrógeno)} = 75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z = P_0/P_1 = 0.882$$

$$P_1 = \text{presión mínima} = 85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_o = (1 \text{ a } 50 \text{ litros}) = \text{capacidad del acumulador (volumen total)}$$

$$V_o = 21 \text{ litros (valor supuesto).}$$

Aplicando la fórmula (53) y (54) respectivamente, calculamos el volumen del aceite que se quiere introducir:

$$V_a = \frac{V_o \cdot Z \cdot (P_2 - P_1)}{P_2} = \frac{21(0.882)(310 - 85)}{310} = 13.44 \text{ Lts.}$$

$$V_a = \frac{V_o \cdot Z^{0.72} \cdot (P_2^{0.72} - P_1^{0.72})}{P_2^{0.72}} = \frac{21(0.882)^{0.72}(310^{0.72} - 85^{0.72})}{(310)^{0.72}}$$

Luego :

$V_a = 11.6 \text{ Lts.}$

Aplicando directamente por la tabla 3 y 4, calculamos la cantidad de volumen del aceite requerido:

Con $P_2 = 310 \text{ Kg/cm}^2$ y $P_o = 75 \text{ Kg/cm}^2$, leemos en la intersección la cantidad del volumen disponible de aceite en % del volumen total; esto es, 75.25 % V_o .

Con $P_1 = 85 \text{ Kg/cm}^2$ y $P_o = 75 \text{ Kg/cm}^2$, leemos igualmente; 12 % V_o .

Luego:

$$V_a = (0.7525 - 0.12) \cdot V_o = 0.6325(21) = 13.30 \text{ Lts. (T=c)}$$

Análogamente, calculamos el V_a (Tabla 4) para un proceso adiabático:

$$V_a = (0.6325 - 0.08)V_o = 0.5525(21) = 11.60 \text{ Lts. (k=1.4)}$$

En consecuencia observamos los resultados obtenidos tanto por la fórmula hallada como por la tabla de los diagramas, que a proceso isotérmico difiere un poco; mientras que a proceso adiabático coinciden. Por consiguiente por razones de seguridad adoptamos el proceso adiabático ($k = 1.4$):

Volumen necesario de aceite = 11.60 Lts. \approx 12 Lts. = V_a

Y:

Capacidad del acumulador hidráulico = $V_o = 21 \text{ Lts.}$

Diagrama para la determinación del volumen de aceite suministrado por un acumulador oleoneumático en condiciones adiabáticas

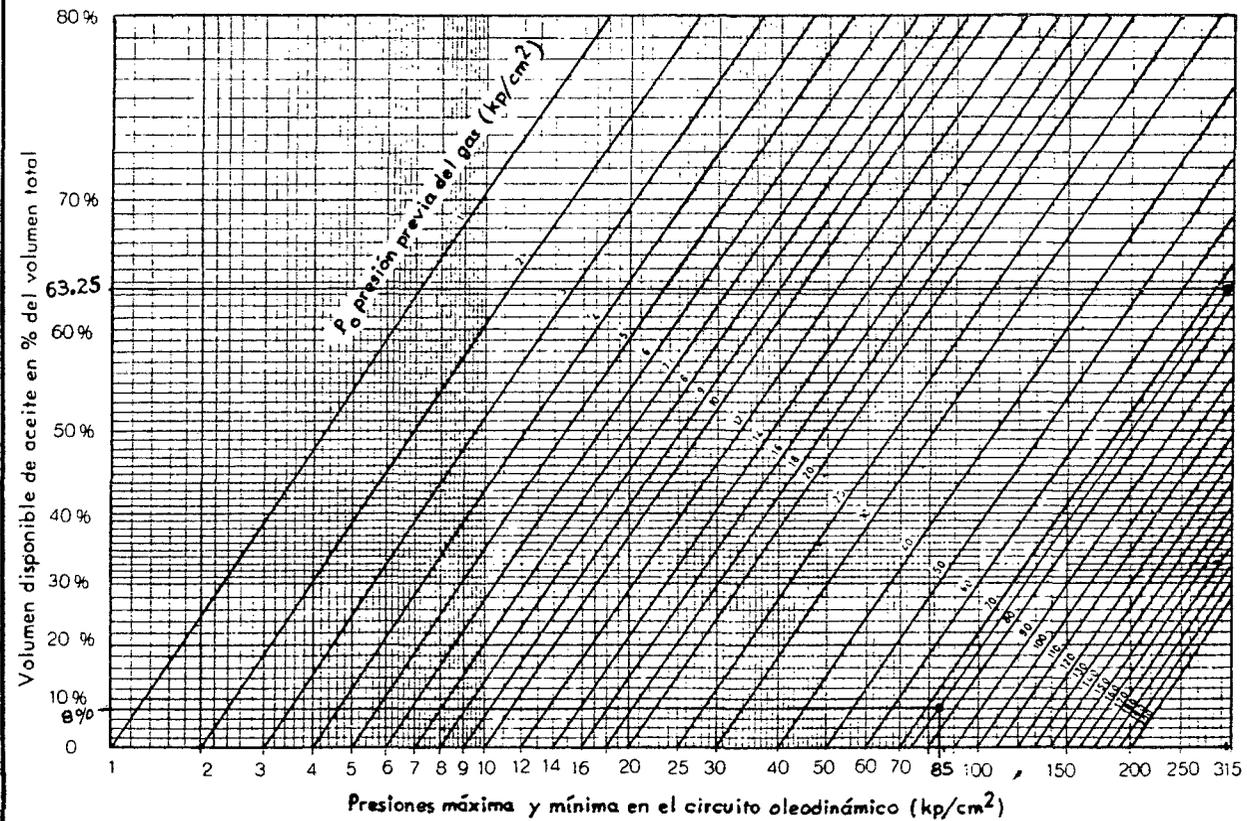


DIAGRAMA Nº 3

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ Kp/cm}^2$$

Diagrama para la determinación del volumen de aceite suministrado por un acumulador oleoneumático en condiciones isotérmicas

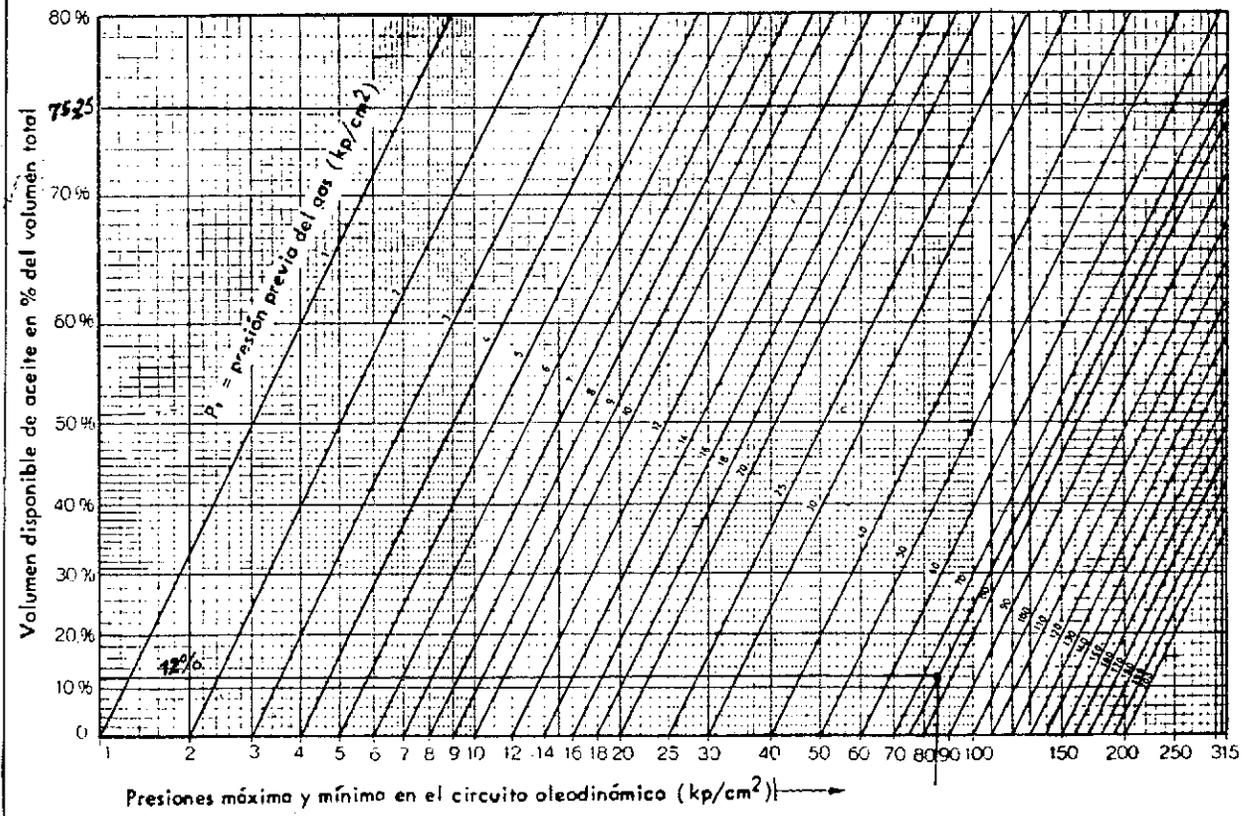


DIAGRAMA Nº 4

$1 \text{ Kp} = 981 \text{ N} = 1 \text{ Kg-f}$

4.1. TUBERIAS HIDRAULICAS.- Las conducciones hidráulicas son aquellas, que sirven para transportar el fluido . Generalmente las tuberías y los molinos se construyen para presiones de aceite, entre 250 a 350 Kg/cm².

Antes de dimensionar la tubería, nos referimos primeramente del tipo de fluido a utilizar.

Existe una variedad de líquidos hidráulicos que se utiliza en los circuitos hidráulicos; pero nos limitaremos de ellas, dando prioridad solamente del aceite mineral como medio fluido hidráulico que vamos a utilizar, por las siguientes razones :

- El aceite mineral, es el más clásico y el más utilizado de todos los líquidos hidráulicos, con propiedades de la que no tiene el agua.
- Tiene elevado poder lubricante; para la buena conservación de los órganos mecánicos, especialmente cuando trabajan a fricción.
- No produce acciones corrosivas, ni depósitos.
- Tiene elevada temperatura de ebullición; pero nunca existe el peligro de que se evapore o entre en ebullición, aún que se calienta por efecto de las resistencias hidráulicas.
- Su temperatura máxima es de 105 °C.
- Temperatura del punto de inflamación es 220 °C.
- No tiene ninguna toxicidad.

Cualquier fluido hidráulico se puede medir por su peso específico ,

y por su viscosidad.

El peso específico de cualquier sustancia varia con la temperatura.

El peso específico del aceite mineral es : 0.864 Kg/dm^3 .

La viscosidad, es una característica fundamental para reconocer si un aceite es adecuado para oleodinámicas. Esto es, que si no se escoge adecuadamente; el funcionamiento de la instalación puede quedar gravemente comprometido e incluso imposibilitado.

La viscosidad es expresado del modo más simple, la resistencia de un líquido al desplazamiento; por que es muy viscoso el fluido (aceite), se dirá que aquel se desliza con dificultad y si un fluido es poco viscoso, su desplazamiento será sin dificultad.

Cuando se indica una viscosidad debe mencionarse siempre el valor de la temperatura a la que corresponde; es decir de la temperatura que tiene el aceite mientras se va descargando del viscosímetro.

4.1.1. SELECCION Y CALCULO DE LA TUBERIA HIDRAULICA.- En los sistemas hidráulicos, las presiones de más de 100 Kg/cm^2 (1500 psi) se consideran de alta presión.

Existen tuberías de tamaños normalizados de acabado interior fino para líneas de alimentación hasta presiones máximas de 490 Kg/cm^2 (3000 psi), y la presión especificada depende del propio tamaño de la tubería. Toda las tuberías de alta presión son de pequeño diámetro interior, que no suele superar los 19 mm de ϕ_i ($3/4'' \phi$), para presiones de 210 Kg/cm^2 (3000 psi) y superiores. Básicamente cuanto mayor es la presión menor es el diámetro interior empleado.

SELECCION DEL MATERIAL

Acero de bajo contenido en carbono estirado en frío: $\sigma_r = 3900 \text{ Kg/cm}^2$.

y con un factor de seguridad = 2

DETERMINACION DEL DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA.

Aplicando la fórmula de HUGOT:

$D_i = 0.06(D_p)$ Para tuberías hasta 30 m. de longitud.

$D_i = 0.08(D_p)$ Para tuberías a más de 30 m. de longitud.

Para tuberías hasta 30 m. de largo tenemos: $D_i = 0.06 \times 12" = 0.72"$

Donde: D_p = diámetro del pistón hidráulico.

DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA TUBERIA.

P_i = Presión interior de la tubería = 350 Kg/cm^2 .

σ_{ad} = Esfuerzo admisible = $3900/2 = 1950 \text{ kg/cm}^2$.

Considerando como una tubería de pared delgada:

$$t = \frac{P_i \times D_i}{2 \times \sigma_{ad}} = \frac{350 \times 18}{2 \times 1950} = 1.6 \text{ mm.}$$

Luego: $D_e = 2t + D_i = 2 \times 1.6 + 18.0 = 21.2 \text{ mm.}$

En consecuencia adoptamos:

Diámetro nominal = $19.0 \text{ mm.} = 3/4" \phi$

Por lo tanto, se utilizará una tubería de $3/4" \phi$; con una presión de diseño de 350 Kg/cm^2

CALCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO EN TUBERIAS.

Según el manual de Oleodinámica SPEICH HANNO (Pág. 534):

v = velocidad del aceite = 3 a 6 m/s (Para tuberías de 10 a 30 mm. ϕ_i).

Para diámetros menores de 30 mm ϕ_i : Es aconsejable bajar la velocidad del aceite.

Para diámetros mayores de 30 mm. ϕ_i : Es recomendable aumentar la velocidad del aceite.

Para la tubería de retorno, con el fin de no crear contrapresiones excesivas se reduce la velocidad entre 20 a 50 % de los valores anteriores.

Entonces para un ϕ_n de 3/4" (19 mm. ϕ), escogemos la velocidad del aceite:

$$v = 4.5 \text{ m/s}$$

CALCULO DEL CAUDAL (\dot{Q}).

$$Q = v(A) = v(D_n)^2 \times \pi/4 = 4.5(0.019)^2 \times \pi/4 = 76.5 \text{ Lts/min}$$

CALCULO DE LA POTENCIA HIDRAULICA (P_{ot_h}).

$$Pot_h = \text{Presión de servicio del aceite} \times \text{Caudal} = P_2 \times \dot{Q}$$

$$Pot_h = 310 \times 1275.88 \text{ Kg/cm}^2 \times \text{cm}^3/\text{s} = 395522.8 \times 9.81 \times 10^{-2} \text{ Nxm/s}$$

$$Pot_h = 38.8. \text{ Kw} = 52 \text{ Hp}$$

LA POTENCIA DE LA BOMBA SERA:

$$Pot_B = \frac{Pot_h}{\eta_B} = \frac{38.8}{0.80} \text{ Kw} = 48.5 \text{ Kw}$$

$$Pot_B = 64.875 \text{ Hp}$$

Los parámetros como: Presión-tensión, Caudal, Velocidad, y la Potencia hidráulica del fluido (aceite), se puede determinar a partir de---

TABLA Nº 5

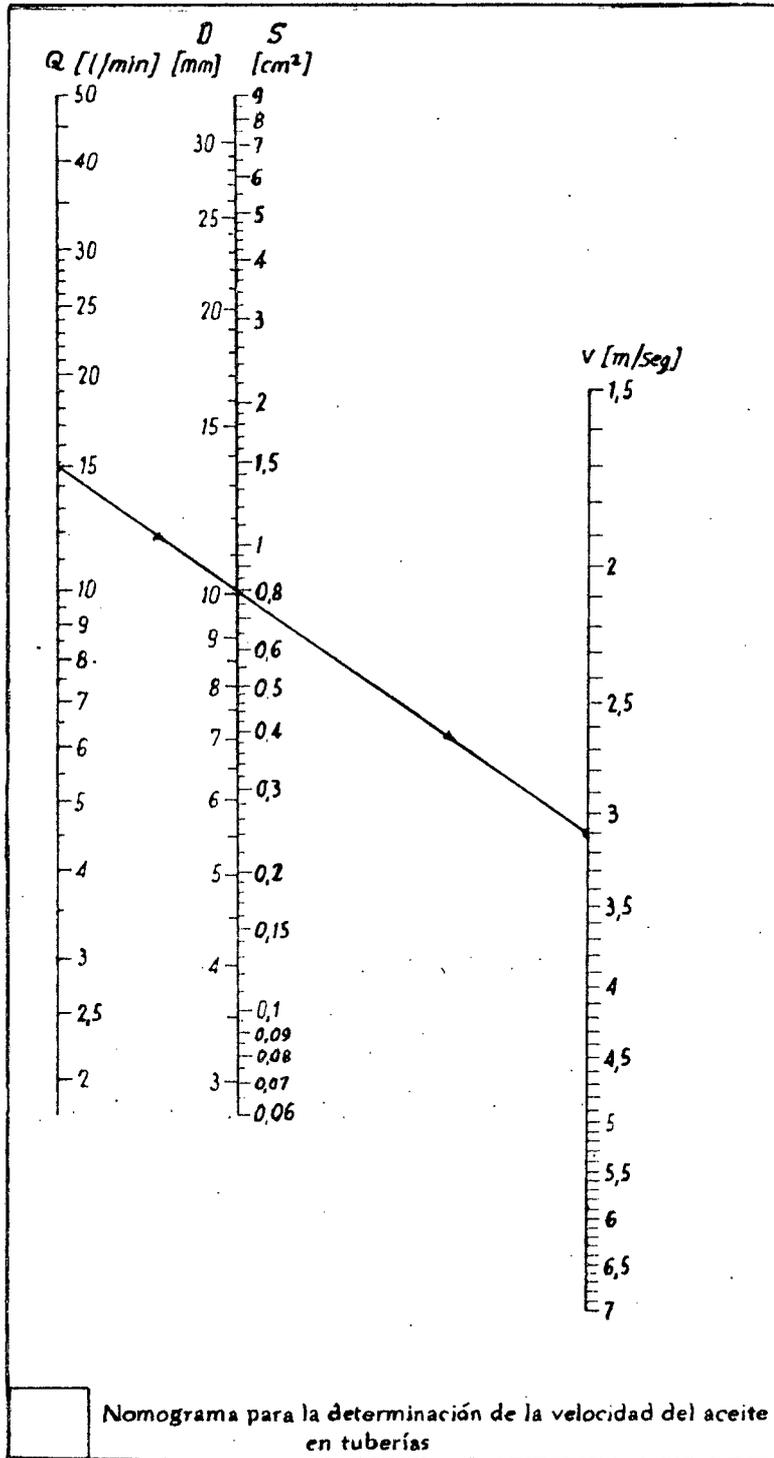


DIAGRAMA Nº 6

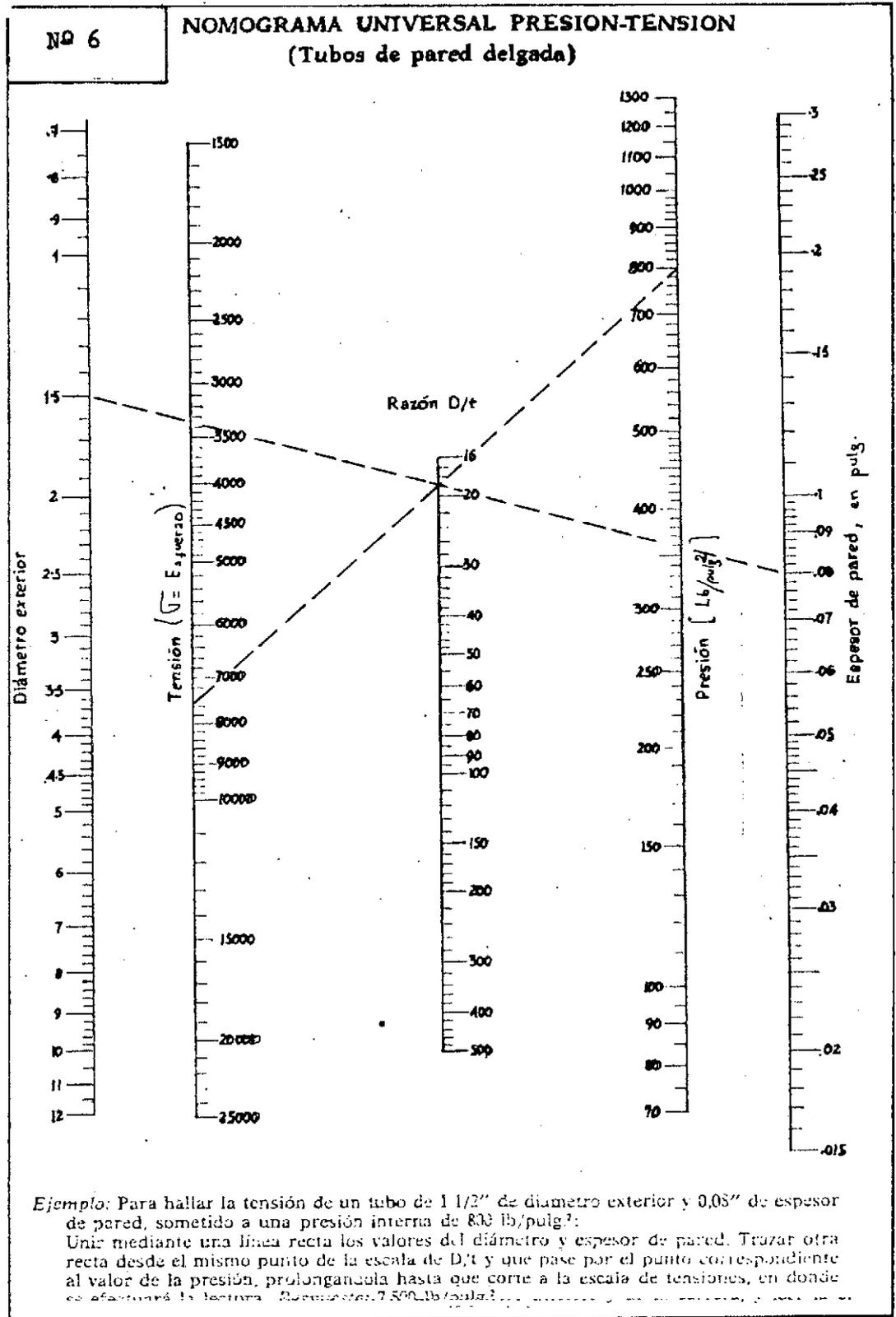
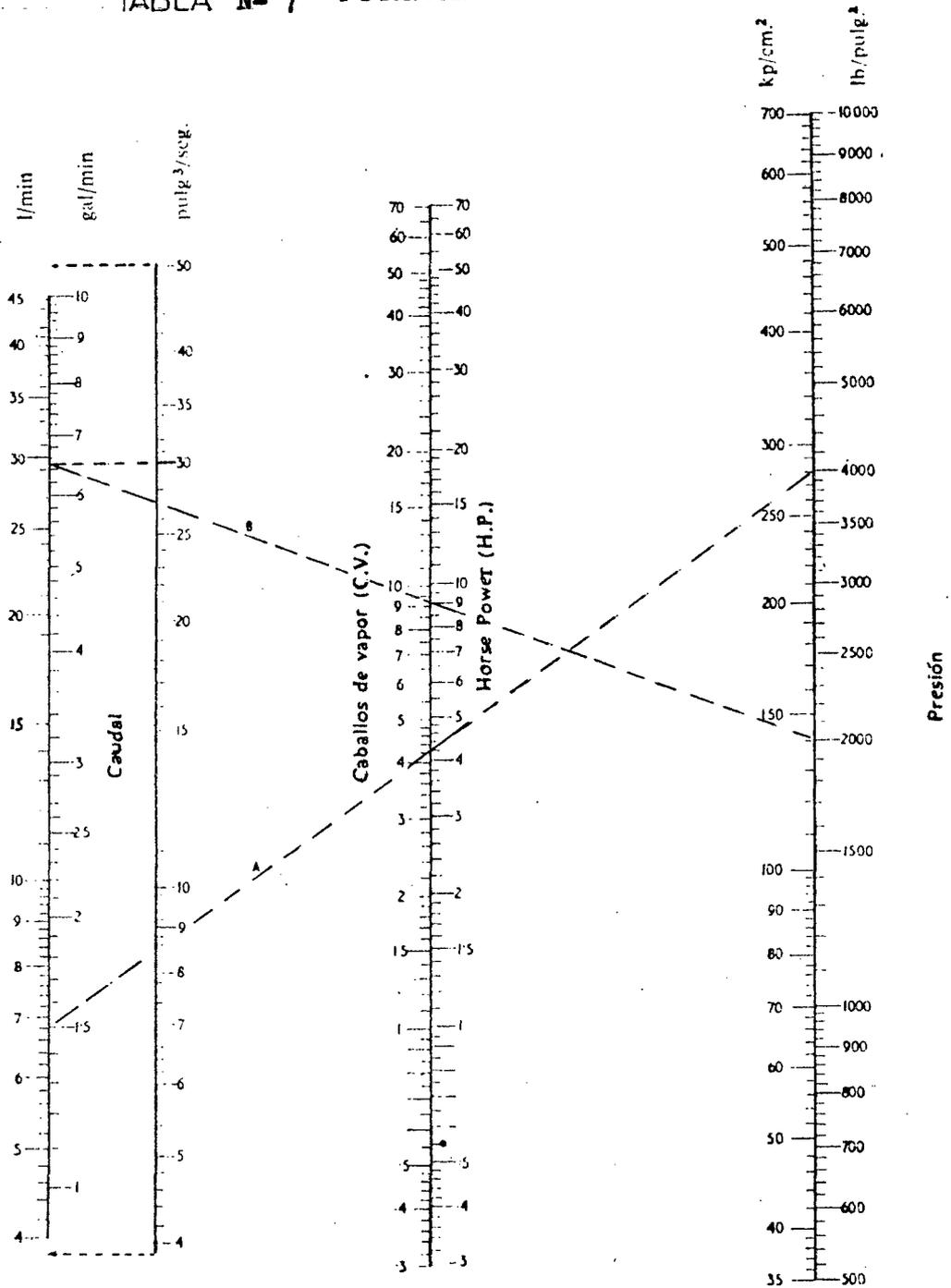


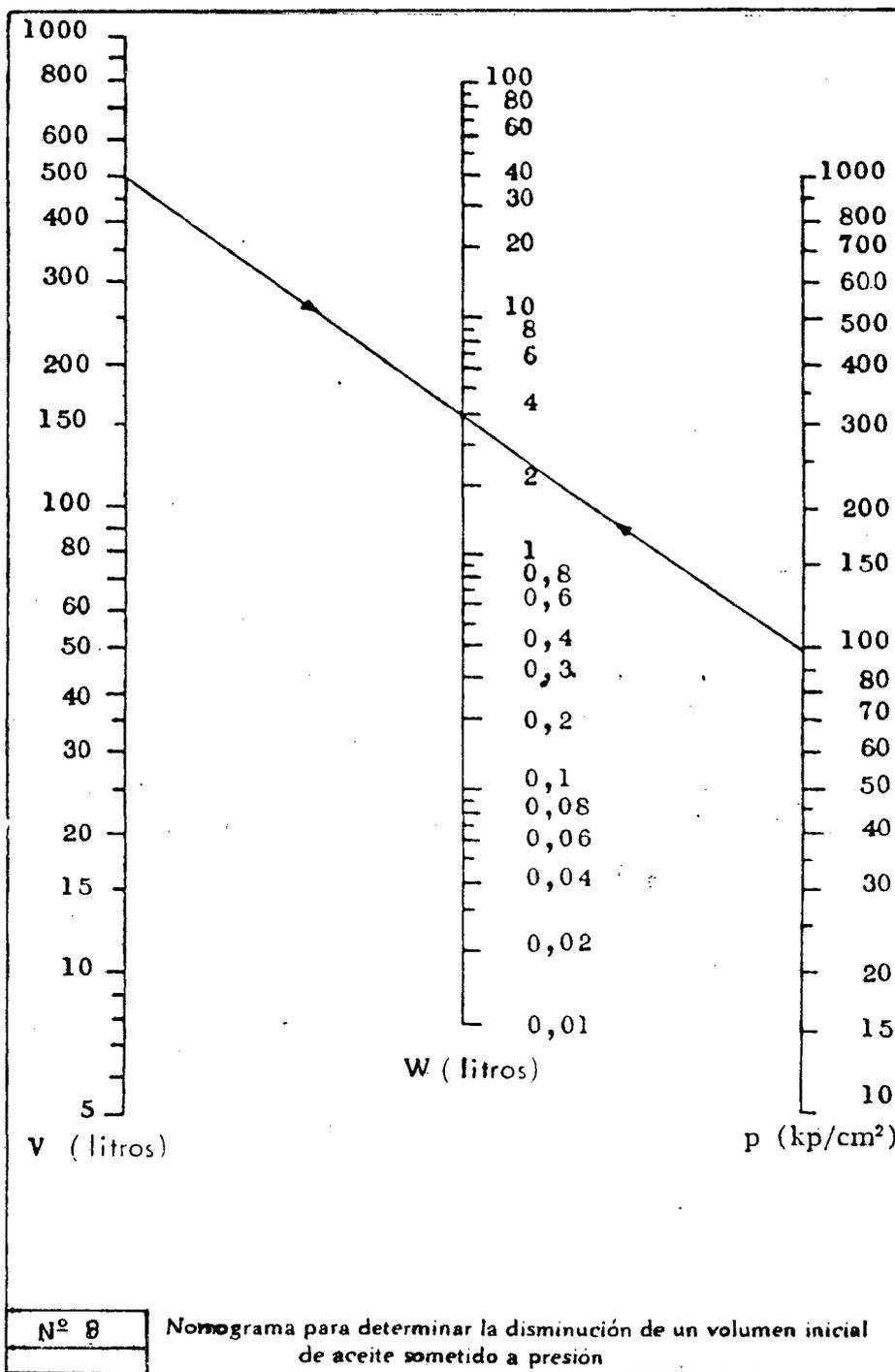
TABLA Nº 7 POTENCIA HIDRAULICA



Ejemplo A: Para hallar la potencia hidráulica correspondiente a un caudal de 1,5 galones/min. y a una presión de 4.000 lb/pulg.²: Unir con una recta los valores del caudal y de la presión y leer la respuesta en el punto de corte de dicha recta en la escala de potencias. *Respuesta:* 4,2.

Ejemplo B: Para hallar la potencia hidráulica correspondiente a un caudal de 30 pulg.³/seg. y a una presión de 2.000 lb/pulg.², trazar una línea horizontal desde el valor 30 en la escala de pulg.³/seg hasta que corte la escala de la izquierda. Desde aquí se procede a unir los valores del caudal y presión y leer la respuesta en la escala B. *Respuesta:* 9,25 CV = 9 HP.

TABLA Nº 8



4.2. RELACION DE LEVANTAMIENTO DE LOS MOLINOS

Dado que las mazas superiores de los molinos deben levantarse durante la operación varios milímetros, su movimiento debe permitir este levantamiento.

En consecuencia, el levantamiento de los molinos se puede medir por la relación siguiente :

Relación de levantamiento = $\frac{\text{Altura de levantamiento del acumulador}}{\text{Altura de levantamiento de la maza sup.}}$

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

Esto es, si la maza superior se levanta 1 mm, el acumulador se levantará 40 mm.

Generalmente, las Vírgenes se construyen para permitir un levantamiento máximo en las mazas superiores, de :

- Para las desmenuzadoras : 40 a 60 mm. (1 1/2" a 2 5/32")
- Para los molinos : 20 a 40 mm. (3/4" a 1 1/2")
- Recomendable utilizar : 25.4 mm a 31 mm (1" a 1 1/4"), en los molinos. (Sea inclinada o vertical).

JUEGO EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUMULADORES

Existe siempre un juego en el funcionamiento de la presión hidráulica de tal forma que la maza superior sube siempre un cierto espacio (altura) antes que el acumulador comience a hacerlo.

Este juego se mide por el espacio que sube la maza superior, desde su

posición de reposo hasta que el acumulador comienza a hacerlo

El juego que existe se debe a diferentes causas :

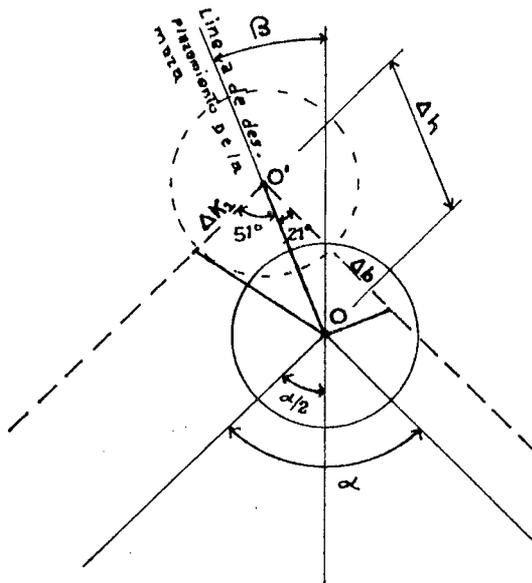
- 1.- Al juego de los cojinetes dentro de las vírgenes.
- 2.- Al mal ajuste realizado de los cabezotes hidráulicos.
- 3.- Al mal ajuste o demasiado cortos los pernos de ajuste de la maza de salida.
- 4.- A los muñones mal ajustados.

Dado la importancia del Juego, se estima que los molinos que dan buenas extracciones, son siempre aquellos cuyo juego es muy pequeño, según HUGOT :

- Juego normal : 1 a 2 mm.
- Juego excesivo y pernicioso: 5 a 6 mm.

DESPLAZAMIENTO (O LEVANTAMIENTO) DE LA MAZA SUPERIOR

Cuando el espesor del bagazo comprimido aumenta (Δb), la maza superior se desplaza un h , como se muestra en la figura.



$$\Delta h = \frac{\Delta b}{\cos(\alpha/2 - \beta)}$$

Donde:

$$\alpha = 72^\circ$$

$$\alpha/2 = 36^\circ$$

$$\beta = 15^\circ$$

$$\Delta b = \Delta K$$

4.3. LA PRESION HIDRAULICA EN LOS MOLINOS.- La presión hidráulica en los molinos vigentes, es un sistema que tiene la ventaja de mantener sobre el cilindro superior una presión constante e independiente de su levantamiento.

En este sistema, los cojinetes superiores del cilindro superior se desplazan dentro del cabezote de la virgen y reciben con o sin la interposición de una pieza intermedia, la presión del cilindro hidráulico que corre dentro del cabezal o cabezote hidráulico.

La presión llega al pistón por una tubería hidráulica (tubería de a ceite), proveniente del acumulador hidráulico.

Los cueros hidráulicos utilizados para las presiones deben ser de alta calidad. Los cueros curtidos con tratamiento mineral duran más que los de tratamiento vegetal.

La fricción del cuero en el cilindro hidráulico origina una pequeña pérdida en la presión total que varía de 3 a 5 % : coeficiente de fricción del cuero (f_c) = 0.03 a 0.05.

Para saber cuál es la presión que realmente, se debe usar en los molinos, se debe analizar desde el punto de vista de extracción de Pel; sin embargo, hay muy poca experiencia en este sentido, solamente existen los datos aportados por los experimentos de NOEL DEERS, sobre la relación entre la presión y el espesor del colchón de bagazo comprimido.

Para evaluar la presión desde el punto de vista analítico es necesario conocer los siguientes parámetros que intervienen realmente y son:

- Pérdida de presión motivada por la fricción del cuero.
- La presión hidráulica específica (PHE) o la presión aprovechable .
- Pérdida de presión motivada por la cuchilla central.
- Compactación del bagazo y presión para efectuarla.
- Presión ejercida por la maza sobre el bagazo.
- Fricción de las chumaceras de la maza superior.
- El setting del molino (K)
- La presión a la entrada y la salida del molino

PERDIDA DE PRESION MOTIVADA POR LA FRICCION.- El esfuerzo necesario para vencer este rozamiento es:

$$P = f_c \times PHT \quad (57)$$

P = fuerza necesaria para vencer la fricción

f_c = fricción (coeficiente) del cuero = 3 a 5 %

PHT = presión hidráulica total ejercida sobre el pistón

PRESION HIDRAULICA ESPECIFICA (PHE).- La presión que se requiere lograr para un buen trabajo de extracción con los molinos, es la presión resultante que actúa sobre el colchón de bagazo que está pasando por entre las mazas del molino; a esta presión la denominaremos " Presión hidráulica específica" (o presión hidráulica aprovechable: PHA), y se puede calcular , según la fórmula siguiente:

$$P.H.E. = \frac{8 \times P.H.T.}{L \times D} \quad (58)$$

Donde : P.H.E = Presión hidráulica específica, en ton/dm²(ton/pie²).

P.H.T.= Presión hidráulica total aplicada al cilindro supe -

rior, en toneladas; L = largo de las mazas; D = diámetro de las mazas en dm. (pies).

Esto es, que la presión aplicada sobre el bagazo es semejante a la que se aplicaría por la presión total (P.H.T.), supuesta uniformemente repartida sobre una superficie plana de longitud "L" y de un ancho de 1/10 del diámetro: $\frac{D}{10}$; y de la presión hidráulica total aplicada al molino, se estima que se pierde un 20 % en fricción sobre la cuchilla central. Esto es, que solamente aprovechamos el 80 % de la P.H.T. en la compresión del bagazo. Tomando en cuenta estos dos factores se ha deducido la fórmula (58).

No es fácil poder determinar cuál es la P.H.E. que debe utilizarse según las condiciones prevalecientes en cada caso, pero se puede señalar que varía dentro de los límites siguientes:

TABLA 10. VALORES LIMITES DE LA PRESION HIDRAULICA ESPECIFICA (PHE)

	DESMENUZADORA		MOLINOS	
	ton/pie ²	ton/dm ²	ton/pie ²	ton/dm ²
Mínimo:	46	5	92	10
Máximo:	140	15	290	31
Normal: (mínimo)			110	12
Normal: (máximo)			225	25

Al dimensionar la P.H.E. se debe tener en cuenta las condiciones mecánicas de la maquinaria y el balance térmico de la fábrica. Esto es que a mayor presión que se use, habrá más probabilidades de roturas y un mayor consumo de vapor.

La tabla 10, como la fórmula (58) son fundamentales para el diseño

de los molinos , ya que estan basadas en el área proyectada (LD) de la maza, lo cual es mucho más correcto, y como la presión que nosotros vamos a aplicar y ver en el molino, es la P.H.T., debiendo despejar entonces este valor de la fórmula explicada anteriormente, para saber qué presión debe ponerse sobre la maza superior, de manera que la fórmula será:

$$P.H.T. = \frac{P.H.E. \times LD}{8} \quad (58a)$$

Obsérvese, que la P.H.E. permite comparar entre sí las presiones de 2 molinos diferentes (por el área proyectada "LD" de la maza). Pero debe cuidarse de considerarla como una medida de la presión aplicada en el bagazo, pues no podría servir para medir tal presión si el colchón de bagazo fuera siempre proporcional al diámetro de los cilindros, lo que no es generalmente el caso, ni en 2 molinos diferentes cuyos regímenes pueden ser diferentes, ni en un mismo molino en el -- que el tonelaje molido puede ser también más o menos variable.

Existen varias teorías con respecto a la presión que debe utilizarse en cada una de las unidades de la planta de molar.

Por ejemplo en Cuba se acostumbra utilizar la presión de ir aumentando desde la desmenuzadora hacia el último molino en forma progresiva.

En otros países se sustenta la teoría de que es necesario aplicar una mayor presión en algunas de las primeras unidades de la batería, a --- fin de lograr la mayor ruptura de las células del tejido fibro-vascular de la caña para lograr una mayor efectividad a la imbibición que

consideran un factor predominante en la extracción, aún más importante que la presión.

En otros países usan una técnica que es la combinación de las dos anteriores: mucha presión en el primer molino, después la disminuyen en el segundo, para aumentarla de nuevo en forma progresiva en los molinos siguientes o la siguen variando alternativamente.

Finalmente, hay una última técnica que aplica el máximo de presión -- que admite el equipo, por igual en todos los molinos, y se basa en el razonamiento siguiente: Si cada una de las unidades de la batería es capaz de soportar una presión determinada, ¿por qué usarse menos presión en alguna de ellas?. En lo que sí hay unanimidad de criterios es en que debe usarse menos presión en la desmenusadora que en los molinos.

Ahora bien, por nuestra parte, en esta cuestión hay que tener en cuenta una vez más "que no se obtiene algo por nada" y que teniendo una buena preparación previa de caña, como es la tendencia moderna, debe aplicarse la mayor presión posible que permitan las características del equipo y de la fábrica, pero haciendo siempre las pruebas que se puedan, ya que muchas veces se ha logrado un mejor trabajo disminuyendo algo la presión con que se estaba operando el molino.

La técnica a usar mucha presión en el primer molino, no es necesario cuando se usan dos o más juegos de cuchillas.

Debe tenerse en cuenta que la batería corta está más necesitada de -- presiones altas que el de la batería larga, ya que en éste el mayor número de compresiones compensa la insuficiencia de la presión.

PERDIDA DE PRESION MOTIVADA POR LA CUCHILLA CENTRAL.- En las pruebas realizadas para obtener estos datos ha habido una gran discrepancia pues se ha llegado desde un mínimo de un 5 % de la P.H.T. (3 Kg/cm²), hasta un máximo de un 50 % (30 Kg/cm²).

En resumen, del reporte obtenido de la " International Sugar Journal" (página 274 - 1978) sobre la presión absorbida por la cuchilla central debe ser del orden del 20 % de la presión hidráulica total, siendo más razonable ésta que de otros autores.

Según MUNSON, que el ajuste de la cuchilla central tiene poca influencia, siempre y cuando que la posición de ésta no sea demasiado baja ni muy alto.

Tomando en cuenta esta consideración inducimos la fórmula (58), que de un 20 % de pérdida de presión, solamente se aprovecha el 0.80 de la P.H.T.

COMPACTACION DEL BAGAZO Y PRESION PARA EFECTUARLA.- Este es el factor más importante para determinar cuál es la verdadera presión que debe usarse en los hidráulicos y que además tiene una gran influencia en el cálculo del ajuste de los molinos. Desgraciadamente hay -- muy poca experiencia al respecto, ya que prácticamente sólo existen los datos apertados por los experimentos de Noël Deery.

La densidad suelta en el estado en que se encuentra cuando llega a los últimos molinos, no es constante, ya que varía de acuerdo a la cantidad del agua de imbibición; esto es que el volumen no cambia, aumentando por consiguiente la densidad. En efecto el bagazo absorbe agua de 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 molinos, es el peso de fibra por unidad de volumen (aproximadamente de 60 a 65 gr/dm³).

Si sobre este bagazo suelto se aplica una presión, su volumen disminuirá rápidamente al principio y más lentamente después; a este efecto se llama "relación de compresión" del bagazo.

RELACION DE COMPRESION (R.C).- Es la relación entre la altura del colchón de bagazo antes y después de comprimirlo:

$$R.C. = \frac{a}{A} \quad (59)$$

Siendo; a = altura del colchón de bagazo suelto

A = altura del colchón de bagazo después de comprimido

Esta razón es también proporcional al peso específico de fibra por unidad de volumen:

$$R.C. = \frac{b}{B} = \frac{a}{A} \quad (60)$$

Siendo; b = peso de fibra por unidad de volumen de bagazo suelto

B = peso de fibra por unidad de volumen de bag. comprimido.

El peso de fibra es el mismo antes y después de la presión:

$A \times S \times b = S \times a \times B$ (volumen del bag. suelto = vol. del bag. comprimido).

$$b/B = a/A$$

Los datos obtenidos en los experimentos de Noël Deerr, demuestran la

relación que hay entre la presión y la relación de compresión, según puede verse en la tabla 11. Como se puede observar, que al principio se logra una gran disminución del grueso del colchón de bagazo con un pequeño incremento de la presión. Después, cerca de los 20Kg/cm² (300 psi), la resistencia aumenta bruscamente y de ahí en adelante son necesarias presiones más y más altas para obtener una ligera com presión.

Estos resultados por Noël Deerr, pueden expresarse por medio de una fórmula, que es la siguiente:

$$P_b = \frac{70}{(10R.C.)^n}, \text{ en Kg/cm}^2 \qquad P_b = \frac{1000}{(10 RC)^n}, \text{ en Lib/pulg}^2$$

$$n = 6 - \frac{5800}{p^2 + 1660} \qquad n = 6 - \frac{1.17 \times 10^6}{p^2 + 335 + 10^3}$$

(61)

Donde: P_b = presión aplicada sobre el bagazo, en Kg/cm² (psi).

Esta fórmula puede simplificarse a la forma siguiente, que elimina el exponente " n " que es algo complejo:

$$P_b = \frac{70}{(10 RC)^6}, \text{ en Kg/cm}^2 \qquad P_b = \frac{1000}{(10 RC)^6}, \text{ en psi} \quad (62)$$

Estas fórmulas (62), son válidas y dan resultados precisos siempre que P_b sea igual o mayor a 50 Kg/cm² (700 Lib/pulg²); por que a partir de esta presión el colchón de bagazo se hace cada vez menos -- compresible y una presión 10 veces más fuerte, osea a 500 Kg/cm², só

lo reduce el espesor del colchón de bagazo en la proporción 11 a 7.

RELACION ENTRE LA PRESION Y EL GRUESO DEL COLCHON DE BAGAZO (R.C.)

TABLA 11. Resultados de los Experimentos obtenidos de Noël Deerr.

P R E S I O N		GRUESO DEL COLCHON DE BAGAZO
Kg/cm ²	Lib/pulg ²	Relación de compresión.
0.077	1.10	100
0.429	6.10	68.2
0.780	11.10	57.7
1.132	16.10	50.7
1.483	21.10	44.8
1.835	26.10	40.8
2.186	31.10	39.3
2.538	36.10	36.2
2.889	41.10	33.6
3.241	46.10	31.8
3.592	51.10	30.0
3.944	56.10	29.3
5.835	83.00	24.1
11.389	162.00	18.5
23.269	331.00	14.7
23.744	480.00	11.6
45.	640.05	11.4
49.4	703.00	11.0
83.9	1193.00	10.2
112.	1593.00	9.02
168.	2390.00	8.56
224.	3186.00	8.12
279.2	3971.00	7.90
335.9	4778.00	7.68
391.9	5574.00	7.46
447.7	6368.00	7.25
503.8	7166.00	7.02
559.5	7958.00	6.91
615.6	8756.00	6.80

TABLA 12. Valor del Exponente " n " y el valor de R.C. en función de la Presión.

PRESION Kg/cm. ²	EXPONENTE " n "	RELACION DE COMPRESION R.C.
1	2.51	0.5432
2	2.515	0.4116
4	2.54	0.3048
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
25	3.46	0.1347
30	3.73	0.1255
35	3.99	0.1190
40	4.22	0.1142
45	4.43	0.1105
50	4.605	0.1076
60	4.90	0.1032
70	5.115	0.1000
80	5.28	0.0975
90	5.405	0.09545
100	5.503	0.09373
120	5.638	0.0909
150	5.76	0.0876
200	5.86	0.0836
250	5.91	0.0806
300	5.937	0.0783
400	5.964	0.0747
500	5.977	0.07272
600	5.984	0.07000
700	5.988	0.06810
800	5.991	0.06660
900	5.993	0.06530
1000	5.994	0.06417

Los resultados de la tabla de Noël Deerr pueden expresarse en un diagrama que reproducimos (Gráfico 4.01 y 4.02).

Recientemente, en el año 1956, G.H. Jenkins demostró que se requiere mucha más presión que la reportada por Noël Deerr, para obtener esos resultados en un molino, ya que se necesita una fuerza adicional a la compresión para expeler el jugo a través del colchón de caña, en el corto tiempo en que él está pasando por entre las mazas del molino. La diferencia está entre los resultados estáticos de Noël Deerr y los dinámicos obtenidos por Jenkins; para una misma presión varían notablemente según la preparación de caña y la velocidad de expulsión del jugo. Esto es, que para obtener la misma relación de compresión del bagazo, según Jenkins, hace falta como un 25 % más de presión que la reportada por N. Deerr y para las condiciones promedio de trabajo se puede considerar la fórmula siguiente:

$$P_b = \frac{88}{(10 RC)^6}, \text{ en Kg/cm}^2 \quad P_b = \frac{1,250}{(10 RC)^6}, \text{ en psi.} \quad (63)$$

PRESION TOTAL RESULTANTE EJERCIDA POR LA MAZA SOBRE EL BAGAZO.—Comencemos en este momento la ley que une la relación entre la presión y el grueso del colchón de bagazo (R.C.). Es ahora entonces ahondar el comportamiento real de la presión en los molinos (Fig. 22).

Es difícil de calcular y aun estimar la presión sobre el lado de la salida, más allá del plano axial. Sin embargo cabe señalar que el prolongamiento de la curva (Gráfico 4.03) es enteramente hipotético -- con el objeto de ver el comportamiento del fenómeno enteramente desconocido, en el lado de salida para calcular la reacción resultante.

GRAFICO 4.01

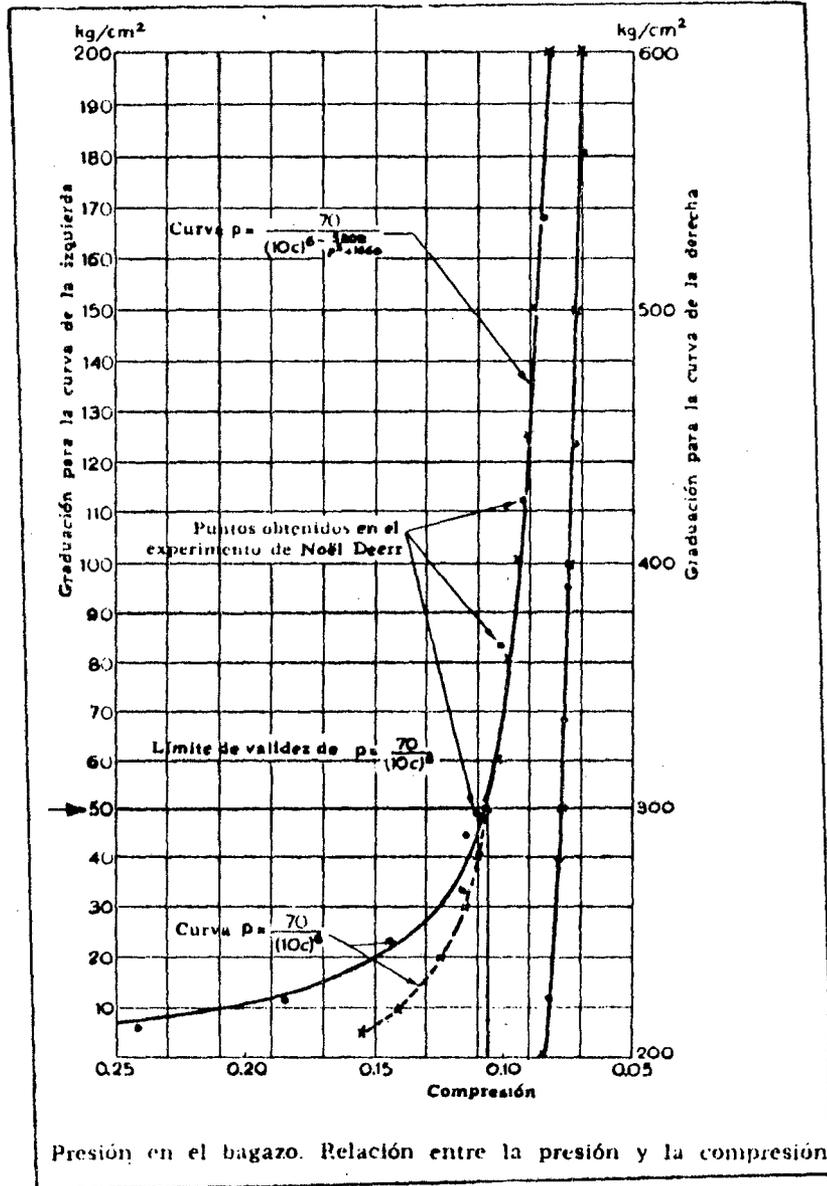


GRAFICO N° 402

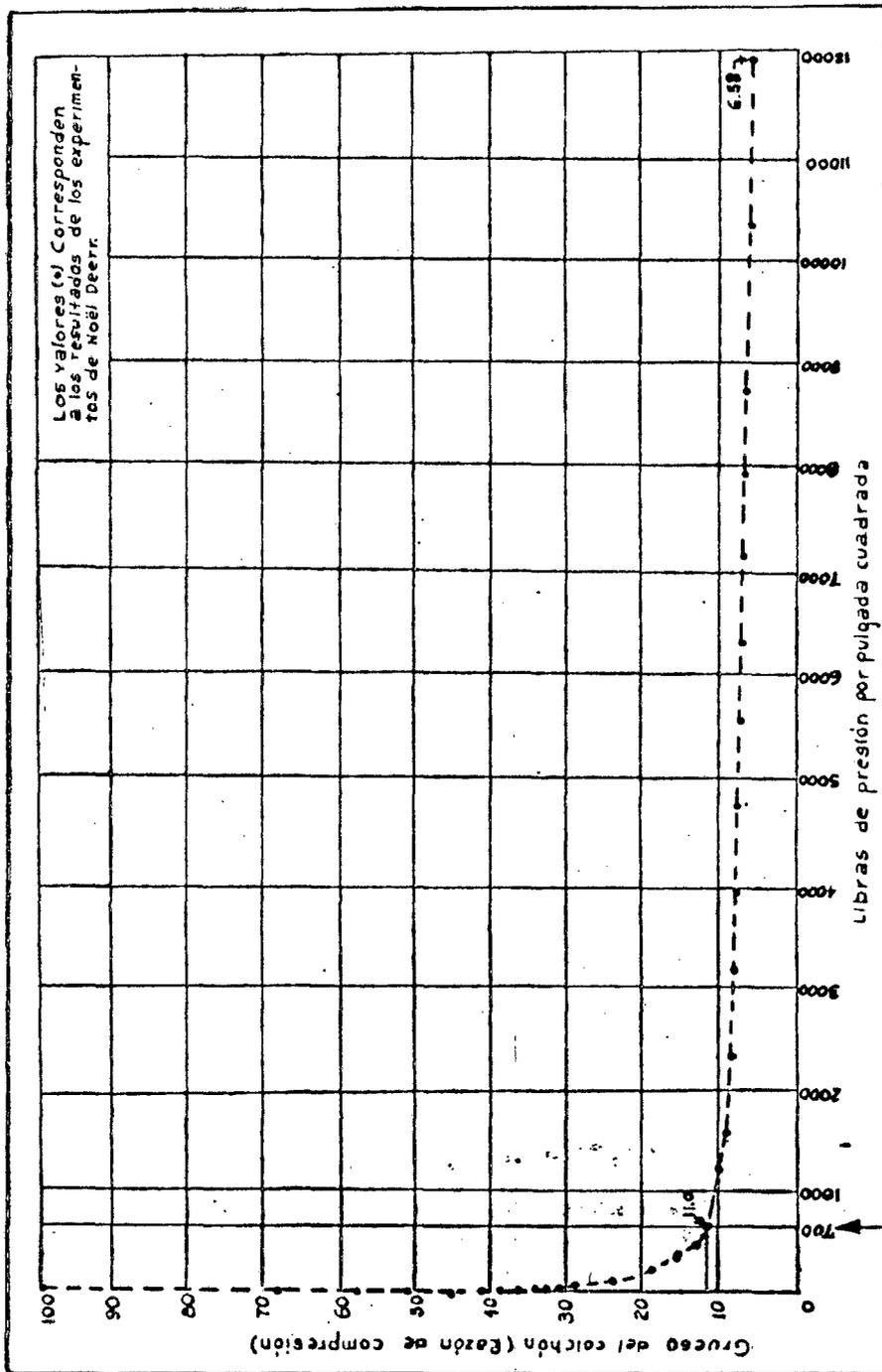


GRAFICO 4.03

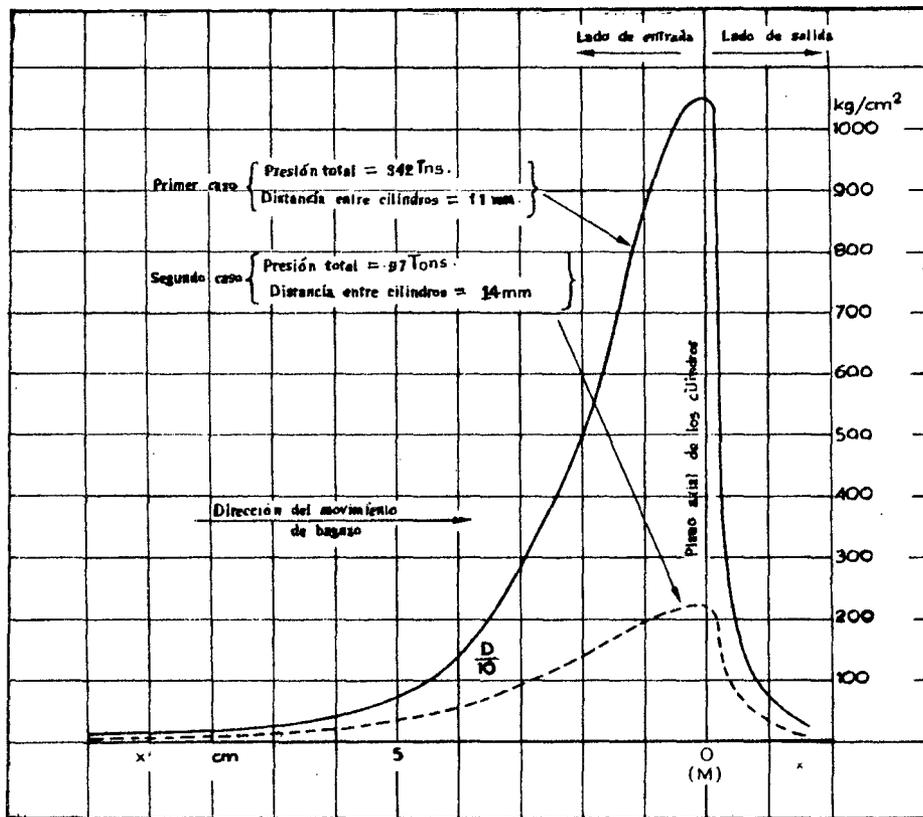
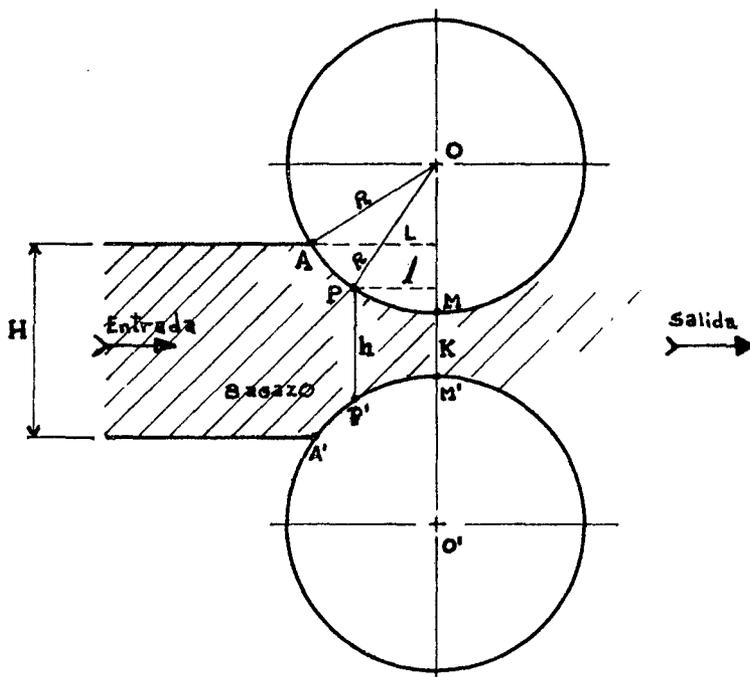


FIGURA N^o 22
CURVA DE LA PRESION EN EL MOLINO



Suponiendo entonces que la contribución del lado de la salida, a la reacción sobre el cilindro superior es del 5 % de la suma de las presiones en el lado de la entrada; esto es, que la suma de toda las presiones representará la reacción total del bagazo sobre el cilindro, reacción igual y opuesta a la presión ejercida por la maza sobre el bagazo. Considerando esta hipótesis podemos integrar este factor que es muy importante en la determinación de los molinos y puede hallarse por medio de la fórmula siguiente:

$$P.T.R. = \frac{25 \times L \sqrt{KD}}{(10 R.C.)^6} \text{ Kg.} \quad P.T.R. = \frac{355L \times \sqrt{SD}}{(10 R.C.)^6} \text{ Lib.} \quad (64)$$

Donde:

P.T.R. = presión total resultante = P.H.R. = Presión hidráulica total, en Kg.

L = longitud de las mazas, en cm. (pulg.)

D = diámetro de las mazas, en cm. (pulg.)

R.C. = relación de compresión

K = setting del molino trabajando, en cm (pulg) = S

Como podrá apreciarse, esta fórmula es de gran utilidad e importante y sencilla, pero...¿Cómo evaluamos el valor de R.C.? Los demás factores son fáciles de saber, pero no sucede lo mismo con la "relación de compresión" en el plano axial de las mazas.

En párrafos anteriores se ha mencionado el cálculo de la relación de compresión, en función de la relación del espesor del colchón de bagazo antes de entrar al molino y en el momento en que está pasando por el plano axial de las mazas, es decir, a/A . También lo expresamos en función del peso específico de la fibra del bagazo suelto y del com-

primido entre las mazas, es decir, b/B. Pero esas expresiones son meramente explicativas y no tienen un verdadero valor práctico por no ser fácil la altura del bagazo suelto, ni determinar el peso específico de su fibra; ya que difieren de acuerdo a la preparación previa de caña y según el molino de que se trate en la batería. Luego, hay que utilizar una fórmula que no adolezca de esos defectos, y esa es la siguiente:

$$R.C. = 0.93 \frac{KF}{q} \quad (65)$$

Siendo:

$q = KdF =$ carga fibra o peso de la fibra por unidad de su superficie de la maza escrito, en Kg/m^2 .

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

$F =$ contenido de fibra de bagazo comprimido con relación a la unidad, es decir: $F = 48 \%$, será 0.48 ; 50% , será 0.50, y así sucesivamente.

R.C. = relación de compresión = cte. x volumen específico

R.C. = cte./d

O:

$$R.C. = 0.48 \frac{S.F}{q} \quad (65a)$$

Donde:

$q = Lib/pie^2$, $S =$ pulg. y $F = \%$ de fibra de bagazo.

Es muy conveniente que se comprenda bien el término "carga de fibra" o "carga fibrosa", ya que tiene una gran significación en los cálculos.

los de capacidad y eficiencia de una planta de moler. Al calcular la carga fibrosa, se deberá tomar el diámetro promedio de las dos mazas que estén comprimiendo el bagazo, para evaluar los m^2 por unidad de tiempo que están pasando sobre la fibra.

Si analizamos un poco las fórmulas (64) y (65) obtendremos una serie de conclusiones muy interesantes, siendo la más importante de todas es el que se puede calcular el setting de la planta de moler por medio de ellas. Efectivamente, si sustituimos el valor de la fórmula (65) en (64) y despejamos el valor de K, tendremos:

$$K^{5.5} = 38 \frac{L \sqrt{D}}{P.T.R.} \left(\frac{q}{10F} \right)^6 \quad (66)$$

O:

$$S^{5.5} = 27000 \frac{L \sqrt{D}}{P.T.R.} \left(\frac{q}{10F} \right)^6 \quad (66a)$$

Donde: L, D, K, en cm; P.T.R. en Kg (Lib); q, en Kg/m^2 (Lib/pie²)

El valor de " K " se calcula a partir de (66) rápidamente por medio de logaritmos, y para cada planta de moler el valor de $38 \times L \times \sqrt{D}$ será el mismo (si los molinos son del mismo tamaño, por supuesto).

La realidad es de que este factor será constante para cada molino.

Otras conclusiones a las que se llegan, analizando la fórmula de la P.T.R., son las siguientes:

La P.T.R. es directamente proporcional a :

1. El largo de las mazas (L).
2. La raíz cuadrada del diámetro de las mazas (\sqrt{D}).
3. La raíz cuadrada del grueso del colchón de bagazo (\sqrt{K}).

Es decir, que para lograr los mismos efectos en dos molinos diferentes es necesario usar valores en la P.T.R. que sean proporcionales a $L\sqrt{KD}$ de cada uno, esto es:

$$\frac{\text{P.T.R. del molino A}}{\text{P.T.R. del molino B}} = \frac{L\sqrt{KD} \text{ del molino A}}{L'\sqrt{K'D'} \text{ del mol. B}} \quad (67)$$

Si lógicamente el grueso del colchón de bagazo se lleva de acuerdo al diámetro de la maza del molino, veremos aquí confirmada la afirmación hecha al principio de este trabajo, de que la presión es proporcional al área proyectada, $L \times D$.

Para lograr un cambio de capacidad en una batería sin cambiar la velocidad, sino el espesor del colchón de bagazo (es decir, q), será necesario variar la P.T.R. proporcional a la raíz cuadrada del tonelaje de fibra, si se quiere obtener iguales resultados, esto es:

$$\frac{\text{P.T.R. del molino A}}{\text{P.T.R. del molino B}} = \sqrt{\frac{K}{K'}} = \sqrt{\frac{q}{q'}} \quad (68)$$

Por su parte, que el equipo tendrá que ser capaz de aceptar todos los demás cambios o aumentos correspondientes para que esto pueda cumplirse, como son la imbibición, el aumento de consumo de potencia, etc.

Otra conclusión que se saca de esta fórmula es la siguiente: Si queremos obtener la misma R.C. en un primer molino al último molino, es

necesario aplicar sobre aquél una presión mayor que la aplicada al último molino, si ambos tienen la misma carga fibrosa y la misma velocidad.

En efecto:

$$\frac{\text{P.T.R. del molino 1}}{\text{P.T.R. del último mol.}} = \sqrt{\frac{K_1}{K_u}} = \sqrt{\frac{F_u \text{ del últ. molino}}{F_1 \text{ del 1er. molino}}}$$

K_1 = espesor del bagazo del 1er. molino.

K_u = espesor del bagazo del último molino.

F_u = fibra del bagazo saliendo del último molino.

F_1 = fibra del bagazo saliendo del 1er. molino.

Además, la fibra del bagazo de los primeros molinos es siempre menor que de los últimos molinos y el espesor K_1 es aproximadamente el doble de K_u . Como generalmente no se aplica al 1er. molino una presión mayor que la aplicada al último molino, entonces la abertura de salida del 1er. molino es siempre mayor que la de los molinos siguientes.

Entonces:

$$\text{P.T.R. (del 1er. mol.)} = \text{P.T.R. (del últ. mol.)}$$

$$\frac{\sqrt{K_1}}{(\text{R.C.})_1^6} = \frac{\sqrt{K_u}}{(\text{R.C.})_u^6}$$

$$\frac{\sqrt{K_1}}{K_1^6 F_1^6} = \frac{\sqrt{K_u}}{K_u^6 F_u^6} \longrightarrow \frac{K_1}{K_u} = \frac{F_u}{F_1}$$

Y por último, se puede sacar la conclusión de que si en una batería

todos los molinos tienen la misma velocidad, iguales tamaños de mazas y si operan con la misma presión hidráulica, sus aberturas de salida estarán en proporción inversa al contenido de fibra en cada uno de ellos.

Pueden hacerse muchas deducciones con estas dos ecuaciones (64) y (65) que nos encamina a obtener muchas peculiaridades de una planta de moler. Por supuesto que estas conclusiones son ciertas siempre y cuando no se llegue a cifras exageradas, que harían cambiar ya muchos factores.

DETERMINACION DE LA PRESION A LA ENTRADA Y LA SALIDA DEL MOLINO.-

Otro factor que debe tenerse en cuenta es la distribución de la presión a la entrada y la salida del molino.

De acuerdo al Gráfico 4.03, la presión por cm^2 máxima correspondiente al paso por el plano axial (en la cima de las curvas), está dada por:

$$P_b = \text{P.M.E.} = \frac{88}{10^6 \times \text{R.C.}^6} \quad (i)$$

$$\text{Se sabe que: } 10^6 \times \text{R.C.}^6 = \frac{25 \times L \sqrt{KD}}{\text{P.H.R}} \quad (ii)$$

Reemplazando (ii) en (i), se obtiene:

$$\text{P.M.E.} = 3.5 \frac{\text{P.H.R}}{L \sqrt{K \times D}} \quad (69)$$

Siendo:

P.M.E. = presión máxima efectiva ejercida sobre el bagazo en su paso por el plano axial de las mazas, en Kg/cm².

P.H.R. = presión total resultante ejercida sobre los dos cilindros considerados, en Kg.

K = espesor del bagazo comprimido en el plano axial, en cm. (abertura, ya sea entrada o salida).

L, D = en cm. (D = diámetro promedio de las mazas que se está considerando, ya sea a la entrada o a la salida).

Esta fórmula es importante y su cálculo es rápido y sencillo de obtener, ya que el factor $\frac{3.5}{L\sqrt{D}}$ es constante; siendo variable el fac-

P.H.R./ \sqrt{K} .

Por consiguiente la fórmula (69) nos muestra la relación de las presiones de salida y de entrada de los molinos, expresado por la relación siguiente:

$$\frac{P.H.R.(salida)}{P.H.R.(entrada)} = \frac{P.M.E.(salida)L\sqrt{K_s D}}{P.M.E.(entrad.)L\sqrt{K_e D}} = \frac{P.M.E.\sqrt{K_s}(salida)}{P.M.E.\sqrt{K_e}(entrada)}$$

(70)

Esto varía enormemente de acuerdo con la relación usada en el setting de los molinos. Frecuentemente se adopta la relación de 2:1 entre las aberturas de entrada y de salida, trabajando. De allí que la presión a la salida es aproximadamente 20 veces más importante a la de la entrada (vale decir la P.H.R. es 20 veces más importante a la salida que a la entrada). Ello podemos calcular por la (69) y (70).

En los molinos modernos generalmente se adoptan, la presión máxima a la salida del orden de 800 a 1000 Kg/cm².

FRICCION DE LAS CHUMACERAS DE LA MAZA SUPERIOR Y LA VIRGEN.- Este es un factor importante en un molino, pues es una reacción que contra - rresta la acción de la presión hidráulica, que a veces puede absorber hasta 50 % de P.H.T., lo cual disminuirá a la P.H.E.; se estima que ese valor oscila entre 30 a 50 %. Esto es que:

$$r = P.H.T. \tan\theta = (0.30 \text{ a } 0.50) P.H.T.$$

(71)

Siendo: r = reacción que actúa entre las paredes traseras de los co jinetes superiores y la virgen.

Todo lo que tienda a disminuir esta fricción será beneficioso para el equipo, pues nos permitirá obtener una buena extracción a una P.H.T. moderada.

El coeficiente de fricción entre el bronce y el acero, sin lubricación, es de 0.18 a 0.20.

Con lubricación el coeficiente se reduce entre 0.09 a 0.11.

Los diseños modernos de vírgenes de varios fabricantes han obviado esta dificultad con deslizadores de rolletes o por medio de la virgen inclinada (vírgenes con cabezotes hidráulicos inclinados).

4.3.1. POLIGONO DE FUERZAS QUE ACTUAN EN UN MOLINO.- La descomposición de fuerzas es compleja. Sin embargo se considera que la reacción sobre los cojinetes superiores de la maza mayor es igual a la P.H.T. Si no hubiera cuchilla central, la P.H.T. se descompondría sobre los cilindros superiores 2 reacciones: F_1 , a la salida y F_0 , a la entrada (Fig. 23). Donde F_1 es más alta, puesto que el ajuste en la salida es siempre más cerrado que en la entrada.

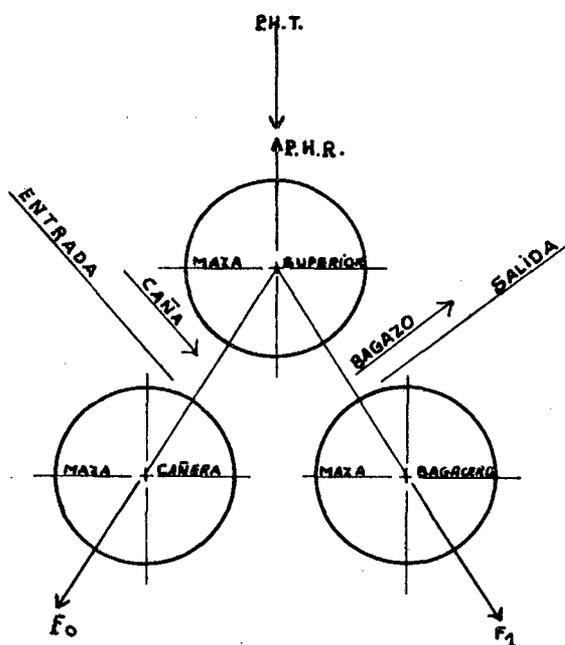


Fig. 23 Resolución de las presiones (reacciones) en un molino, sin cuchilla central

Ahora, si analizamos con cuchilla central (Fig. 24), observamos que una cierta parte de la P.H.T. es absorbida por la cuchilla, este es que se pierde un 20 % en fricción sobre la cuchilla; aprovechando solamente el 80 % de P.H.T., tal como mencionamos en el acápite anterior.

Donde: R_b = reacción de la cuchilla = 20 (sobre la maza superior)
 R = reacción resultante = 80

P.H.T. = presión hidráulica total, ejerciada sobre la maza superior

P.H.T. = 100

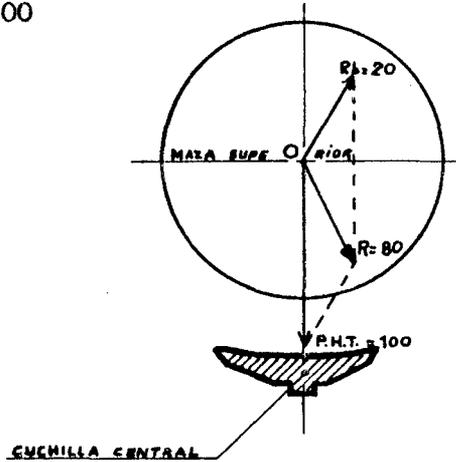


Fig. 24 Efecto de la reacción de la cuchilla central en la presión hidráulica.

Proyectando sobre la vertical (Fig. 25) toda las fuerzas, se demuestra que la suma de F_0 y F_1 permanecen ctes. aun si sus valores varían. Entonces:

$$F_0 \cos \alpha / 2 + F_1 \cos \alpha / 2 = 0.80 P.H.T. \longrightarrow F_0 + F_1 = \frac{0.80 P.H.T.}{\cos \alpha / 2}$$

Por consiguiente:

$$F_0 + F_1 = P.H.R. = \frac{0.80}{\cos \alpha / 2} P.H.T. \quad (72)$$

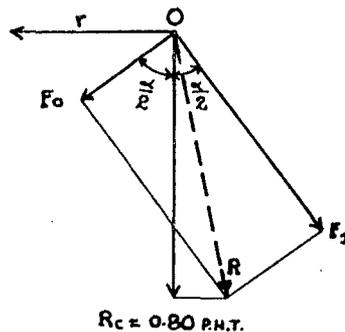


Fig. 25 Descomposición de las reacciones (entrada y salida) totales.

Siendo:

R = resultante de las reacciones F_0 y F_1

$\alpha/2 = \alpha/2$ = ángulo de abertura de los molinos

r = reacción de los cojinetes

R_C = reacción resultante de la cuchilla = $0.80P.H.T.$

Para hacer una mejor representación de la importancia relativa de las diversas reacciones que obran sobre el cilindro superior de un molino operando, es conveniente llevarlas a un diagrama (Fig. 26).

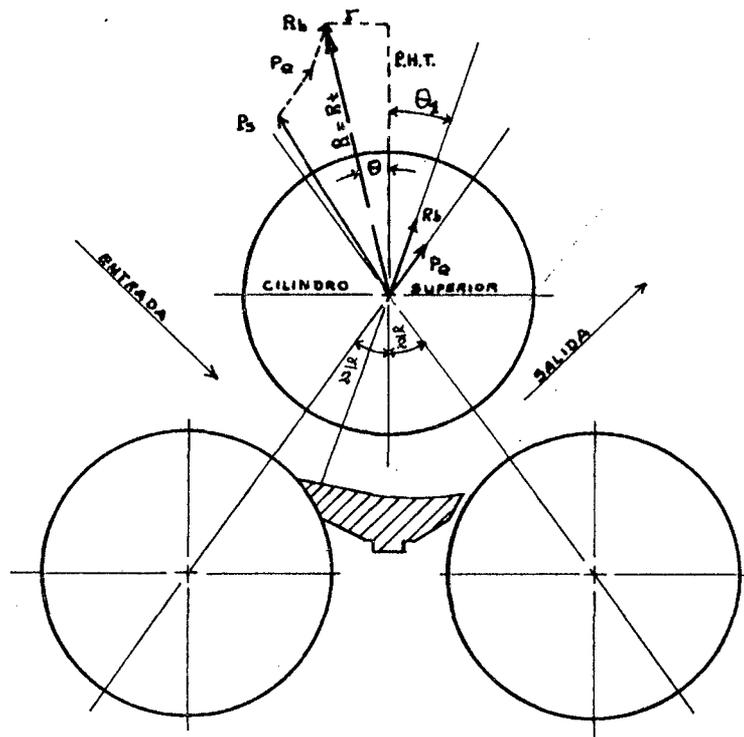


Fig. 26 Polígono de fuerzas del molino

Se adopta la relación siguiente:

$P_e = P_s/20$ y; $R_b = 0.20P.H.T.$ (para molinos verticales)

$P_s/P_e < 20$ y; $R_b/P.H.T. > 0.20$ (para molinos inclinados, con $\beta = 15^\circ$), ver pág. 126.

La resultante total (R_t) de las reacciones P_s , P_e y R_b deben ser igual a P.H.T. En consecuencia, proyectando sobre la vertical tenemos:

$$(P_s + P_e)\cos\alpha/2 + R_b\cos\theta_1 = P.H.T. \quad (i)$$

Tomando la relación (para vírgenes verticales) y reemplazando valores en la ecuación (i), se tiene:

$$1.05 \times 0.80P_s + 0.20P.H.T. = R_t = P.H.T.$$

Despejando P_s :

$$P_s = 0.95 \times P.H.T$$

La resultante de todas las presiones (R_t) es evidentemente igual y opuesta a la P.H.T. ejercida sobre el cilindro superior, lógicamente del lado considerado. En este caso R_t es igual a P.T.R.; luego se tiene:

$$P_s = P.T.R. = 0.95P.H.T. \approx P.H.T. \quad (73)$$

Por consiguiente, queda demostrado que la presión hidráulica total resultante del lado de salida es aproximadamente de la misma magnitud que la P.H.T. (73) aplicada al cilindro superior.

Donde: $\theta_1 = 10^\circ$ = ángulo formado entre R_b y el plano vertical.

$\beta = 15^\circ$ = ángulo de inclinación del molino de virgen inclinado, del lado de la alimentación.

Para el lado de la entrada, se puede tomar:

$$P_e = P.T.R. = (0.03 \text{ a } 0.10) P.H.T. \quad (74)$$

4.3.2. CALCULO Y SELECCION DE LA PRESION HIDRAULICA.- La presión hidráulica que deberá soportar el molino en toneladas, ejercida sobre la maza superior, según el diámetro de los pistones hidráulicos se efectuará el cálculo entonces, considerando bajo dos aspectos:

1. Desde el punto de vista mecánico,y,
2. Desde el punto de vista de extracción de Pol.

El cálculo desde el punto de vista mecánico, se basa en la presión unitaria que se puede aplicar sobre el área proyectada del muñón ; mientras tanto que el segundo, se basa el cálculo en el espesor del colchón de bagaze comprimido en el plano axial (ver el acápite anterior).

1. CALCULO DESDE EL PUNTO DE VISTA MECANICO.

TABLA 13. Presión permisible de los muñones sobre el área proyectada

DESMENUZADORA		MOLINOS	
Lib/pulg ²	Kg/cm ²	Lib/pulg ²	Kg/cm ²
1000	70	1400	100 (mínimo)
1150	81	1600	110 (máximo)

Batería compuesto por 2 juegos de cuchilla y 5 molinos de 40 x 78", de 3 mazas c/u., con pistones hidráulicos de 12" ø.

Dimensiones del muñón :

$$d = D/2 = 40/2 = 20 \text{ pulg.}$$

$$l = 5/4d = (5/4)20 = 25"$$

Donde: d = diámetro del muñón , D = diámetro de la maza,

l = longitud del muñón.

Area proyectada: $20 \times 25'' = 500 \text{ pulg}^2 = 3225.8 \text{ cm}^2$ ($50.8 \times 63.5 \text{ cm}$).

Area proyectada, en ambos muñones: $3225.8 \times 2 = 6451.6 \text{ cm}^2$

y podrá soportar una presión hidráulica (según la tabla 13.) que no exceda de:

$$100 \times 6451.6 = 645,160 \text{ Kg} = 645.160 \text{ Toneladas.}$$

$$110 \times 6451.6 = 709,676 \text{ Kg} = 709.676 \text{ Toneladas.}$$

Por consiguiente, la presión hidráulica máxima será de 709.676 tons. que se puede admitir mecánicamente en ambos collarines ó muñones y que la presión unitaria que se dá como factor para multiplicar por el área proyectada, no tiene nada que ver con la presión manométrica que leemos cuando cargamos los hidráulicos.

Por lo tanto, la presión hidráulica máxima admisible en cada muñón será:

$$F_m = 355 \text{ ton/muñón}$$

Algunos constructores de molinos, llegan hasta 125 Kg/cm^2 (1800 psi) de presión hidráulica en los muñones. Pero no es rentable económicamente llegar a esos valores, por que dificulta la lubricación y por seguridad para conservar una buena lubricación, no debe exceder de 110 Kg/cm^2 (Tabla 13.).

Cálculo de la presión hidráulica total (P.H.T.):

P.H.E. (estimado, según la tabla 10):

$$1er. \text{ molino: } 130 \text{ ton/pie}^2 = 14 \text{ ton/dm}^2$$

$$2do. \text{ molino: } 140 \text{ ton/pie}^2 = 15 \text{ ton/dm}^2$$

$$3er. \text{ molino: } 150 \text{ ton/pie}^2 = 16 \text{ ton/dm}^2$$

$$4to. \text{ molino: } 160 \text{ ton/pie}^2 = 17 \text{ ton/dm}^2$$

$$5to. \text{ molino: } 170 \text{ ton/pie}^2 = 18 \text{ ton/dm}^2$$

$$P.H.T. = \frac{P.H.E. \times LD}{8}$$

Resolviendo la fórmula tendremos:

$$\text{Area proyectada del molino (LD)} = 40 \times 78'' = 21.66 \text{ pie}^2 = 201.289 \text{ dm}^2$$

$$P.H.T. \text{ molino } 1 = \frac{130 \times 21.66 \text{ ton/pie}^2 \times \text{pie}^2}{8} = 352 \text{ tons.}$$

$$P.H.T. \text{ molino } 2 = \frac{140 \times 21.66}{8} = 379 \text{ tons.}$$

$$P.H.T. \text{ molino } 3 = \frac{150 \times 21.66}{8} = 406 \text{ tons.}$$

$$P.H.T. \text{ molino } 4 = \frac{160 \times 21.66}{8} = 433 \text{ tons.}$$

$$P.H.T. \text{ molino } 5 = \frac{170 \times 21.66}{8} = 460 \text{ tons.}$$

Con 167 ton/pie² (18 ton/dm²) es suficiente para el molino 5; en-
tonces:

$$P.H.T. \text{ molino } 5 = \frac{167 \times 21.66}{8} = 452 \text{ tons.}$$

Todos los valores calculados son admisibles con la resistencia mecánica del muñón de 709.676 tons., luego podemos aplicar sin problema alguno la presión hidráulica total en cada muñón:

$$\text{molino 1 : } 352/2 = 176 \text{ ton/muñón.}$$

$$\text{molino 2 : } 379/2 = 189.5 \text{ ton/muñón.}$$

$$\text{molino 3 : } 406/2 = 203.0 \text{ ton/muñón.}$$

$$\text{molino 4 : } 433/2 = 216.5 \text{ ton/muñón.}$$

$$\text{molino 5 : } 452/2 = 226.0 \text{ ton/muñón.}$$

Cálculo de la presión que debe ponerse a cada molino:

Con los valores obtenidos de la P.H.T./muñón y el diámetro del pistón hidráulico (12" ϕ) del cabezote vamos a la tabla 14, y obtenemos las presiones siguientes:

$$\text{molino 1 : } 3117 \text{ Lib/pulg}^2 \text{ (219 Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{molino 2 : } 3350 \text{ Lib/pulg}^2 \text{ (235.5 Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{molino 3 : } 3583 \text{ Lib/pulg}^2 \text{ (252.0 Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{molino 4 : } 3825 \text{ Lib/pulg}^2 \text{ (269.0 Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{molino 5 : } 4000 \text{ Lib/pulg}^2 \text{ (281.0 Kg/cm}^2\text{)}$$

Estos valores que acabamos de calcular, están dentro del rango de trabajo permisible ya que el molino operará con una presión del aceite de 310 Kg/cm²; esto es:

$$\text{P.H.T.} = P_a \times A_t = 310 \text{ Kg/cm}^2 \times \frac{3.1416}{4} (12 \times 2.54)^2 \text{ cm}^2.$$

TABLA Nº 14 TONELADAS DE PRESION HIDRAULICA EN CADA MUÑON

Diámetro Cilindro en Pulg.	Presión Manométrica en Libras por Pulgada Cuadrada									
	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900
7	57.7	59.7	61.6	63.5	65.4	67.3	69.3	71.2	73.1	75.0
7-1/4	61.9	64.0	66.0	68.1	70.2	72.2	74.3	76.4	78.4	80.5
7-1/2	66.3	68.5	70.6	72.9	75.1	77.3	79.5	81.7	83.9	86.2
7-3/4	70.7	73.1	75.5	77.8	80.2	82.5	84.9	87.3	89.6	92.0
8	75.4	77.9	80.4	82.9	85.4	88.0	90.4	93.0	95.5	98.0
8-1/4	80.2	82.9	85.5	88.2	90.9	93.5	96.2	98.9	102	104
8-1/2	85.1	87.9	90.8	93.6	96.5	99.3	102	105	108	111
8-3/4	90.2	93.2	96.2	99.2	102	105	108	111	114	117
9	95.4	98.6	102	105	108	111	115	118	121	124
9-1/4	102	105	109	112	116	119	122	126	129	133
9-1/2	106	110	113	117	121	124	128	131	135	138
9-3/4	112	116	119	123	127	131	134	138	142	146
10	118	122	126	130	134	137	141	145	149	153
10-1/4	124	128	132	136	140	144	149	153	157	161
10-1/2	130	134	139	143	147	152	156	160	165	169
10-3/4	136	141	145	150	154	159	163	168	172	177
11	143	147	152	157	162	166	171	176	181	185
11-1/4	149	154	159	164	169	174	179	184	189	194
11-1/2	156	161	166	171	176	182	187	192	197	203
11-3/4	163	168	173	179	184	190	195	201	206	211
12	170	175	181	187	192	198	204	209	215	221
12-1/4	177	183	189	194	200	206	212	218	224	230
12-1/2	184	190	196	202	209	215	221	227	233	239
12-3/4	192	198	204	211	217	223	230	236	243	249
13	199	206	212	219	226	232	239	246	252	259
13-1/4	207	214	221	228	234	241	248	255	262	269
13-1/2	215	222	229	236	244	251	258	265	272	279
13-3/4	223	230	238	245	252	260	267	275	282	290
14	231	239	246	254	262	269	277	285	292	300
14-1/4	239	247	255	263	271	279	287	295	303	311
14-1/2	248	256	264	273	281	289	297	306	314	322
14-3/4	256	265	273	282	290	299	308	316	325	333

Diámetro Cilindro en Pulg.	Presión Manométrica en Libras por Pulgada Cuadrada									
	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800	4900
7	77.0	78.9	80.8	82.7	84.7	86.6	88.5	90.4	92.4	94.3
7-1/4	82.6	84.6	86.7	88.8	90.8	92.9	94.9	97.0	99.1	101
7-1/2	88.4	90.6	92.8	95.0	97.2	99.4	102	104	106	108
7-3/4	94.3	96.7	99.1	101	104	106	108	111	113	116
8	101	103	106	108	111	113	116	118	121	123
8-1/4	107	110	112	115	118	120	123	126	128	131
8-1/2	113	116	119	122	125	128	130	133	136	139
8-3/4	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147
9	127	130	134	137	140	143	146	150	153	156
9-1/4	136	139	143	146	150	153	156	160	163	167
9-1/2	142	145	149	152	156	159	163	167	170	174
9-3/4	149	153	157	161	164	168	172	175	179	183
10	157	161	165	169	173	177	181	185	188	192
10-1/4	165	169	173	177	182	186	190	194	198	202
10-1/2	173	178	182	186	190	195	199	203	208	212
10-3/4	182	186	191	195	200	204	209	213	218	222
11	190	195	200	204	209	214	219	223	228	233
11-1/4	199	204	209	214	219	224	229	234	239	244
11-1/2	208	213	218	223	229	234	239	244	249	254
11-3/4	217	222	228	233	239	244	249	255	260	266
12	226	232	238	243	249	254	260	266	271	277
12-1/4	235	242	248	253	259	265	271	277	283	289
12-1/2	245	252	258	264	270	276	282	288	295	301
12-3/4	255	262	268	275	281	287	294	300	306	313
13	265	272	279	285	292	299	305	312	319	325
13-1/4	276	283	290	296	303	310	317	324	331	338
13-1/2	286	294	301	308	315	322	329	337	344	351
13-3/4	297	304	312	319	327	334	342	349	356	364
14	308	316	323	331	339	346	354	362	369	377
14-1/4	319	327	335	343	351	359	367	375	383	391
14-1/2	330	339	347	355	364	372	380	388	397	405
14-3/4	342	350	359	367	376	384	393	402	410	419

TONELADAS DE PRESION HIDRAULICA EN CADA MUÑON

Diámetro Cilindro en Pulg.	Presión Manométrica en Libras por Pulgada Cuadrada										Diámetro Cilindro en Pulg.	Presión Manométrica en Libras por Pulgada Cuadrada										
	5000	5100	5200	5300	5400	5500	5600	5700	5800	5900		6000	6100	6200	6300	6400	6500	6600	6700	6800	6900	7000
7	96.2	98.1	100	102	104	106	108	110	112	114	7	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135
7-1/4	103	105	107	109	111	113	115	118	120	122	7-1/4	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144
7-1/2	110	113	115	117	119	121	124	126	128	130	7-1/2	133	135	137	139	141	144	146	148	150	152	155
7-3/4	118	120	123	125	127	130	132	134	137	139	7-3/4	141	144	146	149	151	153	156	158	160	163	165
8	126	128	131	133	136	138	141	143	146	148	8	151	153	156	158	161	163	166	168	171	173	176
8-1/4	134	136	139	142	144	147	150	152	155	152	8-1/4	160	163	166	168	171	174	176	179	182	184	187
8-1/2	142	145	148	150	153	156	159	162	165	167	8-1/2	170	173	176	179	182	184	187	190	193	196	199
8-3/4	150	153	156	159	162	165	168	171	174	177	8-3/4	180	183	186	189	192	195	198	201	204	207	210
9	159	162	165	169	172	175	178	181	184	188	9	191	194	197	200	204	207	210	213	216	219	223
9-1/4	170	173	177	180	184	187	190	194	197	201	9-1/4	204	207	211	214	218	221	224	228	231	235	238
9-1/2	177	181	184	188	191	195	198	202	206	209	9-1/2	213	216	220	223	227	230	234	237	241	245	248
9-3/4	187	190	194	198	202	205	209	213	217	220	9-3/4	224	228	231	235	239	243	246	250	254	258	261
10	196	200	204	208	212	216	220	224	228	232	10	236	240	243	247	251	255	259	263	267	271	275
10-1/4	206	210	215	219	223	227	231	235	239	243	10-1/4	248	252	256	260	264	268	272	276	281	285	289
10-1/2	216	221	225	229	234	238	242	247	251	255	10-1/2	260	264	268	273	277	281	286	290	294	299	303
10-3/4	227	231	236	241	245	250	254	259	263	268	10-3/4	272	277	281	286	290	295	300	304	309	313	318
11	238	242	247	252	257	261	266	271	276	280	11	285	290	295	299	304	309	314	318	323	328	333
11-1/4	249	253	258	263	268	273	278	283	288	293	11-1/4	298	303	308	313	318	323	328	333	338	343	348
11-1/2	260	265	270	275	280	286	291	296	301	306	11-1/2	312	317	322	327	332	338	343	348	353	358	364
11-3/4	271	277	282	287	293	298	304	309	314	320	11-3/4	325	331	336	342	347	352	358	363	369	374	380
12	283	288	294	300	305	311	317	322	328	334	12	339	345	351	356	362	368	373	379	385	390	396
12-1/4	295	301	306	312	318	324	330	336	342	348	12-1/4	354	359	365	371	377	383	389	395	401	407	413
12-1/2	307	313	319	325	331	337	344	350	356	362	12-1/2	368	374	380	387	393	399	405	411	417	423	430
12-3/4	319	326	332	338	345	351	357	364	370	377	12-3/4	383	389	396	402	409	415	421	428	434	440	447
13	332	338	345	352	358	365	372	378	385	392	13	398	405	411	418	425	431	438	445	451	458	465
13-1/4	345	352	359	365	372	379	386	393	400	407	13-1/4	414	421	427	434	441	448	455	462	469	476	483
13-1/2	358	365	372	380	387	394	401	408	415	423	13-1/2	430	437	444	451	458	466	473	480	487	494	501
13-3/4	371	379	386	393	401	408	416	423	431	438	13-3/4	445	453	460	468	475	483	490	497	505	512	520
14	385	393	400	408	416	423	431	439	446	454	14	462	470	477	485	493	500	508	516	523	531	539
14-1/4	399	407	415	423	431	439	449	455	463	470	14-1/4	478	486	494	502	510	518	526	534	542	550	558
14-1/2	413	421	430	438	446	454	464	471	479	487	14-1/2	496	504	512	521	529	537	545	554	562	570	578
14-3/4	427	436	444	453	461	470	478	487	496	504	14-3/4	513	521	530	538	547	555	564	572	581	590	598

$$P.H.T. = 226,200 \text{ Kg} = (226,200 \text{ Kg}) \times 10^{-3} \text{ ton/Kg.}$$

$$P.H.T. = 226.200 \text{ tons./muñón.}$$

Por consiguiente en ambos muñones será:

$$P.H.T. = 2(226.200) = 452.200 \text{ tons.} = 452 \text{ tons.}$$

Donde:

P_a = presión de servicio máximo (presión del aceite)

A_t = área total del pistón hidráulico

En efecto la variación de la escala de presiones en una batería, generalmente se acostumbra aumentar la presión hidráulica del primero al último molino o disminuirla. En la práctica se adopta el 1er. método con la idea de agotar al máximo el bagazo, antes de enviarlo a las calderas; mientras otros adoptan el segundo método, ya que las altas extracciones no dependen de altas presiones, sino de la imbibición con una buena preparación de caña en las primeras unidades.

TABLA 15. Escala de P.H.E. (ton/dm²) Medias.

BATERIA	DESMENUZADORA	MOL. 1	MOL. 2	MOL. 3	MOL. 4
11 mazas	15	24	22	25	-
14 mazas	12	22	20	22	24
15 mazas	18	20	18	21	23

valor tomada según HUGOT como valores relativos (no absolutos).

2. Cálculo de la presión hidráulica desde el punto de vista de la extracción de Pol;

De acuerdo a la tabla 11 y el gráfico 4.01, dados por Noël Deerr, se observa que a partir de 50 Kg/cm² (700 Lib/pulg²) el grueso del colchón de bagazo se hace cada vez menos compresible. En consecuencia es suficiente llegar a los molinos con 310 Kg/cm² (4410 Lib/pulg²).

Luego, aplicando la fórmula (63) calculamos R.C.:

$$R.C. = \left[\frac{88}{10^6 \times P_b} \right]^{\frac{1}{6}} = \left[\frac{88}{10^6 \times 310} \right]^{0.166}$$

$$R.C. = 0.055232$$

Significa, este valor; que la reducción del colchón de bagazo comprimido es muy pequeño, en comparación que se puede obtener una gran reducción del espesor del bagazo a presiones bajas. Este resultado es hipotético, ya que el valor real de R.C. es función de K, q, y F.

Lo que nos interesa evaluar en este momento es la presión aplicada al bagazo, en el plano axial de las mazas y es la fórmula (70) que nos determina esa presión:

$$P.H.M. = 3.5 \frac{P.H.R.}{L(KD)^{0.5}}$$

haciendo:

$$P.H.R. = P.H.T. \quad (\text{lado de presión de salida})$$

$$P.H.T. = 452 \text{ tons.}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$P.H.M. = 3.5 \frac{452,000}{198.1(K \times 101.6)^{0.5}}$$

donde: K = ajuste del molino , incógnita (se calculará en el capítulo sexto, con más precisión)

Frecuentemente la relación entre las aberturas de entrada y salida se adopta como 2:1, y la presión máxima de la salida de 800 entre 1000 Kg/cm²; luego podemos aproximar como valor promedio de:

$$P.H.M. = 900 \text{ Kg/cm}^2$$

En la tabla 12, a 900 Kg/cm² ; La R.C. = 0.0653

Tomando la relación 2:1, determinamos la presión de entrada:

$$\frac{0.0653 \times 2}{1} = 0.1306$$

con R.C. = 0.1306 (tabla 12) corresponde una presión de entrada de 27.7 Kg/cm².

Evidentemente estas presiones varían de la abertura K , de entrada como de salida trabajando (setting del molino).

4.4. VELOCIDAD DE LOS MOLINOS.- Se tiene generalmente la tendencia de utilizar la velocidad periférica que la velocidad de rotación, debido, que da la velocidad del paso de la caña sobre el conductor y del bagazo en los conductores intermedios y en los molinos mismos. Pero es indiferente utilizar la velocidad periférica o la velocidad de rotación, ya que son proporcionales al diámetro de las mazas.

Pero el problema se presenta cuando se quiere comparar molinos con mazas de diámetros diferentes, al fabricar una serie de molinos con un cierto número de largos y diámetros; entonces ¿Cómo deberíamos variar la velocidad de rotación de las mazas en función de sus dimensiones? Sobre esta cuestión, analizaremos desde el punto de vista del constructor de molinos:

Sea:

L = largo de las mazas.

D = diámetro de las mazas.

H = altura del colchón de cañas ó bagazo que llega al molino.

V = velocidad periférica de las mazas.

n = velocidad de rotación de las mazas.

c_1, c_2, c_3, \dots = coeficientes numéricos adecuados.

La capacidad del molino por unidad de tiempo es:

$$C = c_0 L D H n$$

La cantidad de jugo es proporcional a este tonelaje molido; mientras que el obstáculo al escurrimiento del jugo, dado por el movimiento de las mazas en sentido inverso, está formado por 2 factores:

1. La adherencia del jugo a la superficie de la maza. La adherencia se puede medir, por la superficie descrita de la maza en el momento de la extracción:

$$S = LV = 3.1416LnD$$

2. La velocidad de la superficie de la maza que obra en sentido inverso a la velocidad propia del jugo. Este obstáculo es difícil de medir porque envuelve problemas de viscosidad y de adhesión entre capas líquidas. Para efectos de análisis designaremos a la velocidad del jugo en función de $V; f(V)$. El escurrimiento del jugo será entonces:

$$k = \frac{C}{S \times f(V)} = \frac{c_0 LnDH}{iiLnD.f(V)} = c_1 \frac{H}{f(V)}$$

Si, "H" es proporcional a "D", el escurrimiento variará como:

$$k = c_2 \frac{D}{f(V)}$$

Pues bien, queda "D", y se tiene 2 soluciones simples:

i) Conservar para toda serie de dimensiones de las mazas una velocidad periférica constante, entonces el escurrimiento variará como:

$$\text{Si, } f(V) = \text{cte.}, \text{ implica; } k = \frac{D}{f(V)} c_2 = c_3 D$$

En efecto, si "nD" = cte., implica; $C = c_0 LnDH = c_4 LH = c_5 LD$

Significa entonces, que el precio de los molinos, como los repuestos de las mazas, crecen rápidamente al producto "LD" y casi como LD^2 . Lo mismo ocurre con $f(V) = \text{cte.}$, en donde los molinos grandes serán aven

tajados, desde el punto de vista del escurrimiento y por ende en desventaja en capacidad y precio.

Luego, los molinos grandes serán más costosos que los pequeños por T.C. trabajada:

$$\frac{\text{Precio}}{\text{Tonelaje melido}} = \frac{c_6 \cdot LD^2}{c_5 \cdot LD} = c_7 D$$

ii). O bien, conservar una velocidad de rotación constante ($n = \text{cte.}$):

$$k = c_2 \cdot \frac{D}{f(V)} = c_3 \cdot \frac{D}{f(nD)} = c_9 \cdot \frac{D}{f(D)}$$

Esto es que, la función f , creciendo junto con D en el denominador, contrarrestará el efecto del numerador D . Entonces con $n = \text{cte.}$ se obtiene, que los molinos grandes estarán en ventaja en el escurrimiento y la extracción. Además, el peso de las cañas trabajadas son proporcionales al peso del metal utilizado; esto es que la capacidad varía como: $C = c_0 L n D H = c_0' \cdot LD^2$

Y, otro es de que el precio de los molinos permanecen proporcionales a su capacidad:

$$\frac{\text{Precio}}{\text{Tonelaje melido}} = \frac{c_6 LD^2}{c_0' LD^2} = \text{cte.}$$

y disminuye ligeramente con ella, el precio por Kg. de los molinos .

Es decir, los molinos grandes cuestan menos que el de los molinos peñes.

Por consiguiente la velocidad de rotación " n ", es la que caracteriza

con eficacia para el constructor de molinos, por motivos arriba mencionados.

La variación de la escala de velocidades, generalmente son locales, y sobre todo se siguen 2 escuelas:

- 1) La escuela Javanesa; esto es que disminuyen del primero al último molino.
- 2) La escuela Hawaiana; esto es que aumentan del primero al último molino.

Para evitar el atascamiento en los molinos, se adopta el método de Hawaii; esto es que haciendo girar más rápidamente a los últimos molinos se les permite absorber con rapidez el bagazo que viene de los que les preceden.

Es interesante conocer la velocidad máxima en un molino, ya que doblando la velocidad debe doblarse el tonelaje molido.

TROMP, da como velocidad periférica límite:

$$V = 18D$$

En efecto : $n = 18/D = 6 \text{ rpm.}$

Pero actualmente, se pasa el límite indicado por Tromp.

4.4.1. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE LOS MOLINOS.

La tabla 16, está confeccionada del molino estándar de 762 x 1370 mm. Para efectos de cálculo se utilizará la relación siguiente:

$$\frac{q'}{q} = \frac{D'}{D} \quad (75)$$

TABLA 16. Ajuste de Molinos (q = carga fibrosa, en gr/dm²)

BATERIA	4M	D + 4M	D + Desf. + 4M	5M	D + 5M
Desmenuzadera: -		113	115	-	107
1er. Molino : 96		130	137	101	132
2do. Molino : 135		150	143	143	147
3er. Molino : 144		167	156	157	166
4to. Molino : 166		179	159	168	174
5to. Molino : -		-	-	183	189

Siendo:

q = carga fibra del modelo.

q' = carga fibra (nueva variable).

D = diámetro del modelo.

D' = diámetro de la maza nueva (40" ϕ = 10.16 dm ϕ).

$$n = \frac{S}{3.1416LD60} \quad (I)$$

$$S = \frac{Cf}{q'} \quad (II)$$

Reemplazando (II), en (I):

$$n = \frac{Cf}{188.5q'LD} \text{ rpa.} \quad (76)$$

Cálculo de la capacidad, en peso fibra:

$$Cf = 210 \times 0.16 = 33.6 \text{ T.F.H.} = 33,600 \text{ Kg.}$$

Cálculo de q', para cada molino aplicando la ecuación (75):

$$q' = q \frac{D'}{D}$$

$$1er. \text{ Molino} : q' = 101(1016/762) = 101(1.3333)10^{-3} \text{ Kg/dm}^2$$

$$q' = 101 \times 1.33333 \times 10^{-3} = 0.1346 \text{ Kg/dm}^2$$

$$2do. \text{ Molino} : q' = 143 \times 1.3333 \times 10^{-3} = 0.1906 \text{ Kg/dm}^2$$

$$3er. \text{ Molino} : q' = 157 \times 1.3333 \times 10^{-3} = 0.2093 \text{ Kg/dm}^2$$

$$4to. \text{ Molino} : q' = 168 \times 1.3333 \times 10^{-3} = 0.2240 \text{ Kg/dm}^2$$

$$5to. \text{ Molino} : q' = 183 \times 1.3333 \times 10^{-3} = 0.2440 \text{ Kg/dm}^2$$

Reemplazando los valores hallados de Cf, y q' en la ecuación (76),
calculamos la velocidad de rotación " n " para cada molino:

$$1er. \text{ Molino} : n = \frac{33,600}{188.5 \times 0.1346 \times 10.16 \times 19.81} \text{ rpm.}$$

$$n = \frac{0.885625}{0.1346} = 6.6 \text{ rpm.}$$

$$2do. \text{ Molino} : n = \frac{0.885625}{0.1906} = 4.6 \text{ rpm.}$$

$$3er. \text{ Molino} : n = \frac{0.885625}{0.2093} = 4.2 \text{ rpm.}$$

$$4to. \text{ Molino} : n = \frac{0.885625}{0.2240} = 3.9 \text{ rpm.}$$

$$5to. \text{ Molino} : n = \frac{0.885625}{0.2440} = 3.6 \text{ rpm.}$$

Por consiguiente, la velocidad máxima de rotación es : 6.6 rpm.

Entonces, la velocidad periférica máx. es: $V = \pi n D = 21 \text{ m/min.}$

4.5. LA CAPACIDAD DE LOS MOLINOS.-- En una batería de molinos, la capacidad se mide por la cantidad de caña molida por unidad de tiempo, ya sea en T.C.H., o en T.F.H.

Las T.C.D. significan el tonelaje que se manipulan durante la zafra entre el número de días trabajadas, y T.C.H. significa el tonelaje trabajado sin interrupciones durante la hora. Sin embargo, en algunos Ingenios las horas de molienda son normales, y es raro que pase un día sin paradas.

Los factores que determinan la capacidad de los molinos son:

1. Porcentaje de fibra en caña.

El tonelaje de caña molida es proporcional a la fibra y el espesor del colchón de bagazo comprimido a la salida es exactamente proporcional a la fibra, para la misma P.H.R.

2. Dimensiones y velocidad de las mazas.

La cantidad de bagazo es proporcional al producto del espesor del colchón de bagazo por el área descrito por el cilindro al pasar por el plano axial entre las mazas, por unidad de tiempo: $S = LDnH$, y como "H" es proporcional a "D", la capacidad variará como LnD^2 .

3. Número de mazas.

Factor importante en la extracción permisible: En una batería corta, el espesor del colchón de bagazo debe reducirse para obtener una extracción satisfactoria; mientras que en una batería larga, se debe aumentar en proporción al largo de ella.

En la práctica, no se ajusta a ninguna de las dos soluciones; más bien, la influencia del largo de la batería es proporcional a \sqrt{M} ,

el cual sí, se aproxima a la realidad para evaluar la capacidad.

4. Preparación de la caña.

La desmenuzadora y las cuchillas mejoran la capacidad (ya se ha visto en el acápite anterior).

La influencia de la preparación de la caña, está constituido por un coeficiente especial " c ", que a continuación se dan los valores ya establecidos:

- Para 1 juego de cuchillas : $c = 1.10$ a 1.20
- Para 2 juegos de cuchillas: $c = 1.15$ a 1.25
- Para una desmenuzadora
Searby. : $c = 1.10$
- Para una desmenuzadora
Maxwell. : $c = 1.05$
- 1 juego de cuchillas más
una desmenuzadora Searby. : $c = 1.15 \times 1.05 = 1.20$
- 2 juegos de cuchillas más
una desmenuzadora Maxwell : $c = 1.20 \times 1.025 = 1.23$

5. Imbibición.

Cuanto mayor es la imbibición que se aplica, es difícil alimentar los molinos.

6. Tipo de rayado utilizado en todo el Tandém.

La forma y la profundidad de las ranuras, como el grano del metal facilitan la toma de las cañas; y el rayado mechantes tienen un papel importante en la alimentación.

7. La presión hidráulica.

Los molinos trabajan mejor con cargas ligeras.

8. Diseño adecuado y condiciones de la batería.

En la actualidad, se construyen los molinos con diversos perfeccionamientos que mejeran su capacidad:

- Alimentadores forzados, que permiten aumentar el tonelaje . Sirve para evitar el atascamiento del bagazo, esencialmente.
- Personal, que influye considerablemente para la buena elaboración y el rendimiento de la producción. Es necesario la calidad del personal responsable del ajuste y conservación de los molinos.

Para evaluar la capacidad, es lógico razonar tomando como base la hipótesis de que el diámetro y el espesor del colchón de bagazo son proporcionales, considerando en términos de peso fibra como "Cf." Este peso se distribuye en el área del cilindro como: $S = 60\pi DnL$

de donde se obtiene:
$$\frac{Cf}{S} = \frac{Cf}{60\pi DnL} = c_0 D$$

Luego, se deduce que la capacidad es como:

$$C = c_0' \cdot \frac{nLD^2}{f} \quad (77)$$

c_0' = este coeficiente encierra 2 factores, que faltan evaluar y ellas son: el coeficiente de preparación " c " y la influencia del largo de la batería.

Cabe resaltar que la capacidad también es proporcional al volumen de la maza como: $\frac{Cf}{V}$, en T.F.H./m³

Al analizar los valores del coeficiente " c ", no encontramos la razón para que una desmenuzadora rinda menos que una cuchilla: (c =1.10 contra, c=1.15) pues de ser así, la desmenuzadora no tendría razón de

ser. Tampoco consideramos que 2 juegos de cuchillas hagan el mismo trabajo que 1 cuchilla más una desmenzadora, ya que este último es superior.

Es indiscutible que las cuchillas aumentan la capacidad en un 15 % (1.15), y por lo tanto la desmenzadora lo hará en un 20 % (1.20).

Con esto deducimos que " c " , no es lo mismo para toda las plantas de moler, ya que varia cuando cambia el número de mazas N.

De todas maneras adjuntamos una serie de valores calculados de " c " para diferentes combinaciones de equipos de preparación previa de caña, que consideramos un valor más real a la fórmula. Dichos factores son:

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| 1. Sin cuchillas | : c = 1.00 |
| 2. 1 juego de cuchillas | : c = 1.15 |
| 3. Una desfibradora | : c = 1.20 |
| 4. Dos juegos de cuchillas | : c = 1.24 |
| 5. Un juego de cuchillas + 1 desf. | : c = 1.29 |
| 6. Tres juegos de cuchillas | : c = 1.30 |
| 7. Dos juegos de cuchillas + 1 desf. | : c = 1.35 |
| 8. Dos juegos de cuchillas+ 2 desf. | : c = 1.44 |

El 2 y el 3 son equipos básicos, y el resto son combinaciones con estos equipos; y el factor se ha calculado multiplicando el factor de mayor ganancia por el menor con su ganancia reducida a la mitad, del siguiente modo:

$$4. c = 1.15 \times 1.075 = 1.23 = 1.24$$

$$5. c = 1.20 \times 1.075 = 1.29 ; \text{ y así sucesivamente.}$$

No queremos exagerar cuando pensamos en el equipo 4 de preparación previa de caña, pues estamos plenamente convencidos a eso habrá que ir en el futuro para lograr altas molidas con una buena extracción.

La combinación 6 será ideal para moliendas grandes.

4.5.1. CALCULO DE LA CAPACIDAD.

Composición de la batería : 5 molinos

Número de mazas : 15 = N

Fibra % caña : 16 = f

Coefficiente de preparación de caña (c = 1.23, con dos juegos de cuchillas).

Velocidad de rotación : n = 6.6 rpm.

Dimensiones de la maza : DL = 40" x 78" = 1.016 x 1.981 m.

Fórmula, según "HUGOT":
$$C = 0.55 \frac{c \times n \times L \times D^2 \times (N)^{0.5}}{f}$$

Donde:

C = capacidad de la batería, en T.C.H.

L = largo de las mazas, en m.

D = diámetro de las mazas, en m.

N = número de mazas en la batería

Reemplazando valores respectivos en la fórmula calculamos la capacidad:

$$C = 0.55 \frac{1.23 \times 6.6 \times 1.981 \times (1.016)^2 \times (15)^{0.5}}{0.16} = 214 \text{ T.C.H.}$$

$$C = 214 \times 24 = 5136 \text{ T.C.D.}$$

Por consiguiente la capacidad de molienda será de: 5000 T.C.D.

4.6. POTENCIA EN LOS MOLINOS.- La relación entre el tonelaje de caña y el tonelaje de fibra, con la potencia desarrollada, es pequeña.

Desde el punto de vista del consumo de vapor o de corriente, es muy conveniente trabajar con el mayor colchón de bagazo posible.

Por el contrario, si el aumento de tonelaje se obtiene por medio del aumento consecuente de la velocidad del molino, sin modificar el ajuste y la carga fibrosa, la potencia consumida aumentará casi proporcionalmente a la velocidad y al tonelaje.

La potencia de una batería de molinos, evidentemente es la suma de las potencias de cada una de las unidades que lo componen. En efecto la potencia consumida por un molino depende de la presión hidráulica que se elija, de la velocidad a la cual se hace girar y de la carga fibra correspondiente.

En forma particular, existen dos escuelas principales:

- a) La escuela Javanesa, en la cual los molinos se cargan menos cuando las baterías son largas. Esta solución es la de los países donde el azúcar es barata.
- b) La escuela Hawaiana, en la cual se obtiene el máximo de cada molino cualquiera que sea el largo de la batería. Esta solución se da en los países donde el azúcar es cara.

La potencia se mide generalmente en H.P.I./T.F.H. por molino.

En una batería corta los valores de la potencia oscilan entre 25 a 30 H.P.I./T.F.H.; en las medianas (de 14 a 15 mazas) se mantiene en-

tre 20 a 25 H.P.I./T.F.H., y en las baterías largas (de 17 a 25 mazas), se desciende a veces, a 18 y 15 H.P.I./T.F.H.

La determinación de la potencia consumida por un molino es bastante compleja porque integra varios factores, y ésta se descompone en 6 términos:

- Potencia consumida por la compresión del bagazo.
- Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes de las mazas.
- Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla central.
- Potencia consumida por la fricción de los raspadores y de la punta de la cuchilla contra las mazas a la que se suma el trabajo de desprendimiento del bagazo en estos puntos.
- Potencia consumida por el movimiento de los conductores intermedios.
- Potencia consumida por los engranes.

Además, de estos términos que acabamos de mencionar, hay otros factores, que son difíciles de medir; como son: la variedad de caña, estado de las superficies de rozamiento, calidad y conservación de la lubricación, ajuste de las aberturas y de la cuchilla, etc.

4.6.1. CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS MOLINOS.- La potencia se evaluará teniendo en cuenta de los factores arriba mencionados, mediante una fórmula aproximada; y los valores hallados en la práctica pueden diferir sensiblemente de las potencias medias que se establecerán. Esta diferencia puede llegar entre 20 a 25 % del valor normal que da la fórmula.

Bajo estas consideraciones, se evaluará la potencia de un molino des

componiéndola en los 6 términos indicados.

1) CALCULO DE LA POTENCIA POR LA COMPRESION DEL BAGAZO.

Fórmula, según "HUGOT":
$$\text{Pot.} = 0.5 P.H.T. n \sqrt{\frac{qD}{dF}} \quad (\text{I})$$

O :

$$\text{Pot.} = 0.5 P.H.T. n D \sqrt{\frac{C.F.E.}{dF}} \quad (\text{II})$$

Donde:

Pot. = potencia consumida, en H.P.

P.H.T. = presión hidráulica total, aplicada sobre el cilindro superior en tons.

n = velocidad de rotación, en rpm.

D = diámetro de las mazas, en m.

d = densidad del bagazo comprimido en el plano axial de las mazas de salida, en Kg/m^3 .

F = fibra del bagazo saliendo del molino, con relación a la unidad.

C.F.E. = carga fibrosa específica, en Kg/m^3 .

Cálculo de la carga fibra específica:

$$C.F.E. = 2.92c(N)^{0.5} = 2.92 \times 1.23 \times (15)^{0.5}$$

$$C.F.E. = 13.9 \cong 14$$

Cálculo de la densidad del bagazo comprimido:

$$d = \frac{1}{\frac{F}{\delta} + \frac{1-F}{\delta'}}$$

Siendo: $F = 50\% = 0.50$

$$\delta = \text{densidad de la fibra} = 1.6 \text{ gr/cm}^3.$$

$$\delta' = \text{densidad del jugo} = 1.092 \text{ gr/cm}^3 = 1092 \text{ Kg/m}^3.$$

Reemplazando estos valores, tenemos d:

$$d = \frac{1}{\frac{0.50}{1.60} + \frac{1-0.50}{1.092}} = 1.298 \text{ gr/cm}^3 = 1298 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{P.H.T.} = 452 \text{ tons, } D = 40'' = 1.016 \text{ m., } n = 6.6 \text{ rpm.}$$

Reemplazando, en (II) tenemos:

$$\text{Pot.} = 0.5 \times 6.6 \times 452 \times 1.016 \sqrt{\frac{14}{1298 \times 0.50}} = 222.6 \text{ HP} = 166.4 \text{ Kw.}$$

2) CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA FRICCIÓN ENTRE LOS MUÑONES Y LAS CHUMACERAS.

$$\text{Pot.} = 0.7f_0 \text{ P.H.T.}nD$$

Donde:

f_0 = coeficiente de fricción entre el acero y el bronce.

$$f_0 = 0.08$$

Reemplazando valores tenemos:

$$\text{Pot.} = 0.7 \times 0.08 \times 452 \times 6.6 \times 1.016$$

$$\text{Pot.} = 169.7 \text{ HP.} = 126.8 \text{ Kw.}$$

3) CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA FRICCIÓN ENTRE EL BAGAZO Y LA CUCHILLA.

Considerando que la cuchilla absorbe 20 % de P.H.T., y con un factor

de resbalamiento de 50 % .

$$\text{Pot.} = 0.076f_b P.H.T.nD$$

Siendo:

f_b = coeficiente de rozamiento del bagazo sobre el acero; este rozamiento se produce sobre la superficie de la cuchilla que se encuentra a una distancia de $0.55D$ del eje de la maza.

$$f_b = 0.4, (\text{según Tromp}).$$

Reemplazando valores en la fórmula tenemos:

$$\text{Pot.} = 0.076 \times 0.4 \times 452 \times 6.6 \times 1.016$$

$$\text{Pot.} = 92.14 \text{ HP.} = 68.8 \text{ Kw.}$$

4) CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LA FRICCIÓN DE LOS RASPADO - RES Y DE LA PUNTA DE LA CUCHILLA.

- Potencia del cilindro superior:

$$\text{Pot.} = 0.07f'PrLnD \quad (\text{Según Hugot}).$$

- Potencia del cilindro de salida:

$$\text{Pot.} = 0.07f'PrLnD$$

- Potencia del cilindro de entrada:

$$\text{Pot.} = 0.07f'Pr'LnD$$

Para los 3 cilindros será:

$$\text{Pot.} = 0.07f'(2Pr + Pr')LnD$$

Siendo: f' = coeficiente de rozamiento, en seco = 0.20

Pr = presión del raspador, dado por el desprendimiento del bagazo por cada cm. de longitud del raspador.

Pr' = presión de la cuchilla (en la punta).

Según ISJ-1938, estima para la cuchilla como:

$$Pr' = 4/3Pr$$

Si, Pr = 45 Kg/cm. ; entonces: Pr' = 4/3(45) = 60 Kg/cm.

Evaluando con todo estos factores, y reemplazando en la fórmula para los 3 cilindros tenemos:

$$Pot. = 2.1LnD$$

$$Pot. = 2.1 \times 1.981 \times 6.6 \times 1.016$$

$$Pot. = 27.8 \text{ HP.} = 20.8 \text{ Kw.} = 21 \text{ Kw.}$$

5) CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR EL MOVIMIENTO DE LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS.

$$Pot. = 1.9LnD \quad (\text{Según Hugot}).$$

Reemplazando valores tenemos:

$$Pot. = 1.9 \times 1.981 \times 6.6 \times 1.016$$

$$Pot. = 25 \text{ HP.} = 19 \text{ Kw.}$$

6) POTENCIA CONSUMIDA POR LOS ENGRANES.- Para evaluar esta potencia se integrará en la fórmula definitiva por medio de una eficiencia de las coronas.

Según LEHMY, da los valores siguientes de la eficiencia:

Rendimiento de las coronas : $\eta = 0.90$

Rendimiento de cada par de engranes: $\eta = 0.98$

Fricción en los diversos bronceos : $\eta = 0.95$

En conjunto resulta:

Rendimiento total : $\eta_{rg} = 0.90 \times 0.98 \times 0.95 \times 0.98 = 0.82$

CALCULO DE LA POTENCIA TOTAL CONSUMIDA POR UN MOLINO.

$$Pot._T = \frac{nD}{\eta_{rg}} \left[P.H.T. \left(0.5 \sqrt{\frac{C.F.E.}{dF}} + 0.05 \right) + 4L \right]$$

Donde:

Pot._T = potencia total consumida por un molino de 3 mazas, en HPI.

n = velocidad de rotación de las mazas, en rpm.

L = largo de las mazas, en m.

D = diámetro de las mazas, en m.

C.F.E. = carga fibrosa específica, en Kg/m³.

P.H.T. = presión hidráulica total aplicada sobre el cilindro superior, en tons.

d = densidad del bagazo comprimido en el plano axial de las mazas de salida, en Kg/m³.

= rendimiento de los engranes.

F = fibra del bagazo, en relación a la unidad = 0.50

Reemplazando valores respectivos en la fórmula evaluamos la potencia total de un molino:

$$Pot._T = \frac{6.6 \times 1.016}{0.82} \left[452 \left(0.5 \sqrt{\frac{14}{1298 \times 0.50}} + 0.05 \right) + 4 \times 1.981 \right]$$

Pot._T = 521 HPI = 389 Kw.

$$\text{Pot.}_T = \frac{521}{210} = 2.5 \text{ HPI/TCH}, \text{ por cada molino.}$$

Potencia total de toda la batería será:

$$\text{Pot.}_T = \frac{5 \times 2.5}{1} = 12.5 \text{ HPI/TCH}$$

En términos de fibra:

$$\text{Pot.}_T = \frac{521}{210 \times 0.16} = 15.5 \text{ HPI/TFH}, \text{ por cada molino.}$$

Potencia total en toda la batería será:

$$\text{Pot.}_T = 5 \times 15.5 = 77.5 \text{ HPI/TFH}$$

POTENCIA INSTALADA DE LA PLANTA.

$$\text{Pot.}_I = f.s. \times \text{Pot.}_T$$

Conocida la potencia media consumida por cada molino, es suficiente aumentar en un 15 % para obtener la potencia del motor por instalar, para los valores máximos de la presión hidráulica y de la carga fibrosa.

Reemplazando valores tenemos:

$$\text{Pot.}_I = 1.15 \times 521 = 599 \text{ HP} = 448 \text{ Kw.}$$

C A P I T U L O V

DISEÑO DEL MOLINO DE VIRGEN INCLINADA

5.0. DISEÑO DE MAZAS

Las mazas tienen un diseño de tal forma que llevan ranuras circulares, con el único objeto de dividir al bagazo en forma más compacta y facilitar la eficiencia de extracción de los molinos.

Generalmente, las mazas son piezas de fierro fundido especial.

5.0.1. CONSIDERACIONES BASICAS GENERALES

A) TIPO DE RANURADOS

Existen diferentes tipos de ranurados de mazas y, su utilización— está sujeta de acuerdo a las necesidades locales de la Planta de Moler, y son los siguientes :

- 1.- Mazas con ranuras circulares.
- 2.- Engranaje de mazas con ranuras de dimensiones múltiples.
- 3.- Mazas universales.
- 4.- Mazas con ranuras Hind-Renton.
- 5.- Mazas con ranuras Kay.
- 6.- Mazas con ranuras tipo Messchaerts.

RANURAS CIRCULARES

Las mazas con ranuras circulares se tallan describiendo círculos completos en un plano perpendicular al eje, distribuidos en su periferie

Las dimensiones se escogen de tal manera que seán múltiplos unas de— las otras, para permitir el engrane de las mazas, de un ranurado con

las de otro. Evidentemente, un ranurado se caracteriza por su altura, ancho y paso del diente.

RANURAS TIPO MESSCHAERTS

Sistema que fué creado en Hawaii, con el único objeto de mejorar la extracción del jugo.

Se tallan alrededor de la maza de entrada canales circulares más o menos espaciadas, de tal forma que el jugo tenga una salida y puede escurrir sin ninguna dificultad de uno y otro lado de la maza.

En la maza de salida se encuentra el mismo efecto, pero no es tan necesario como en la maza de entrada; ya que aquí, su propio peso ayuda a salir al jugo de la zona de alta presión.

Los Messchaerts se puede diseñar de dos formas:

- Eliminando un diente y colocando la messchaert en el eje del diente eliminado (Fig. 5.1).
- Dejando todos los dientes y tallando la messchaert entre dos de ellos (Fig. 5.2).

Este segundo sistema tiene la ventaja de no perder ningún diente, y por consiguiente evita la creación de una zona sin presión dentro del colchón de bagazo comprimido. Sin embargo el drenaje lateral es menos frágil y la ranuras mechartes vecinas tienen la tendencia de quebrarse. Por esta razón se reserva el segundo sistema a los ranurados gruesos, en los cuales el ancho de los dientes compensa la proximidad de los Messchaerts.

Las ranuras Messchaerts dejarían de ser útiles y se llenarían de bago

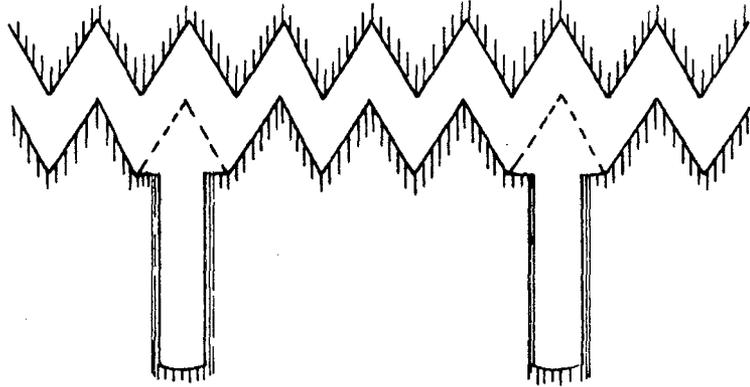


FIGURA Nº 5.1

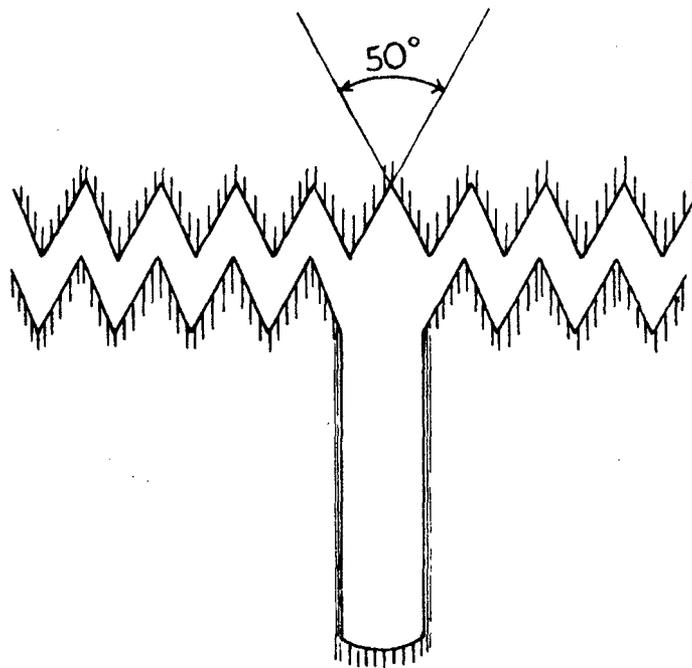


FIGURA Nº 5.2

zo si es que no se instalan detrás de la maza de entrada los "RASPADORES MESSCHAERTS", o peines de limpieza; que consisten en una barra de acero que llevan frente a cada canal Messchaert, una punta que se prolonga hasta el fondo de ella y, deben estar bien ajustados para que pase exáctamente en el centro de las Messchaerts; de lo contrario se produciría el rozamiento contra las paredes, desgastándose fácilmente los Messchaerts.

Generalmente las mazas de entrada llevan Raspadores Messchaerts, y en la maza de salida es difícil de instalar aquél por el sentido de su rotación, y para compensar esta dificultad se colocan en la maza bagacera un juego de "Jinetes" apoyados contra el raspador de salida. Sin embargo presentan 2 inconvenientes:

- Cuando se hace girar al molino al revés debido a los atascamientos, éstos se salen de su lugar donde están trabajando.
- Limpian perfectamente el canal Messchaert, del bagazo taponeado, pero lo hacen antes que el jugo haya podido escurrirse por ella, obstaculizando su paso y quitando a la Messchaert parte de su utilidad

Sin embargo es recomendable colocar a la salida del último molino, ya que el jugo que sale en ella es muy poco. Pero su uso no es tan extendida.

IMPORTANCIA DE LOS MESSCHAERTS

El paso de los Messchaerts dependen del débito de jugo, siendo aquél, la distancia entre los ejes de 2 dientes sucesivos y debe ser múltiplo del paso de ranuraje. No es necesario hacer las Messchaerts demasiada anchas, porque el drenaje se hace menos rápido.

Cuando el tonelaje de caña manipulado es alto, y sobre todo cuando la imbibición es muy fuerte; es necesario hacer Messchaerts más numerosas o más profundas, para evacuar el jugo con facilidad.

Para la maza de salida, las dimensiones de los Messchaerts no es tan necesario en razón del poco débito de jugo y porque la presión a la salida de la maza es elevada, facilitando a la ruptura de los engranes o dientes vecinos a las Messchaerts. Por estas razones se deberá adoptar un ancho pequeño de 3 mm. y, no pasarse jamás de los 22 mm. de profundidad y, con un paso más largo evidentemente.

Las mazas provistas de canales Messchaerts, sufren más daño por los pedazos de fierro que pasan por el molino y se desgastan fácilmente.

Sin embargo rinden servicios considerables a la maza de entrada, y su utilidad radica por las siguientes razones :

- Mejora la capacidad del Molino, permitiéndole una cantidad de jugo, que de otra manera provocaría atascamientos.
- Mejoran sobre todo la Extracción de la batería, aumentando la proporción de jugo extraído por la maza de entrada y facilitando a su vez, el trabajo recargado de la maza de salida.

Así, como es unánime, la utilización de las Messchaerts en la entrada ésta está dividida en lo concerniente a la salida. Entonces podemos estimar, que la solución depende de la relación entre el precio del Kilogramo de azúcar y el precio del Kilogramo de la maza. Si, esta relación es elevada, pueden ranurarse Messchaerts en la maza de salida.

B) ANGULO DE LAS RANURAS

Es importante dar un ángulo adecuado a las ranuras de las mazas.

A medida que las aberturas de sus dientes disminuyen, el desgaste y la fragilidad de las ranuras aumentan. Entre los 30° y 40° , el desgaste es notable.

Según los diversos fabricantes tenemos el ángulo de las ranuras :

- Franceses. : 55° a 60°
- Americanos. : 45° a 50°

Para efectos de diseño, es mejor tomar como promedio: 50° a 55° .

Abajo de 45° , los temores son notables.

C) CHEVRONES

Los chevrones son muescas, que están talladas en los dientes de la maza cañera (maza de entrada) y la maza superior; y cuya sucesión describe una hélice simétrica de la primera con relación al plano medio de la maza, con la finalidad de facilitar la toma del bagazo.

Los chevrones deben tener una profundidad ligeramente inferior a la del diente y la distancia de un chevron al principio del siguiente chevron tomado a lo largo de la circunferencia, se le denomina "Paso" del chevron. Frecuentemente se adopta como regla general, para situar el chevron, es sobre la generatriz que pasa por las extremidades de la "V" formada por el precedente.

Los chevrones (o Broquelados) se tallan sobre las ranuras, bajo las condiciones siguientes:

- 1.- El paso debe ser proporcional a la longitud del cilindro para un

ángulo igual : ángulo = 16° a 26° (Promedio = 18°).

2.- Los chevrones se tallan siempre en las 2 mazas de alimentación :

Maza de entrada y Maza superior.

3.- Jamás se debe tallar en la Maza de salida (Maza Bagacera); porque

ésta es alimentado por la Cuchilla Central y la Maza superior y,

en el lugar de los chevrones, el bagazo no se comprimiría.

El Trazado de los chevrones se realiza de la siguiente manera:

- Primero se localiza el centro de la maza en el tramo longitudinal.

- Una vez situado el punto medio, se traza desde ella una distancia--
de 12" (304.8 mm.), sobre la superficie de revolución de la maza.

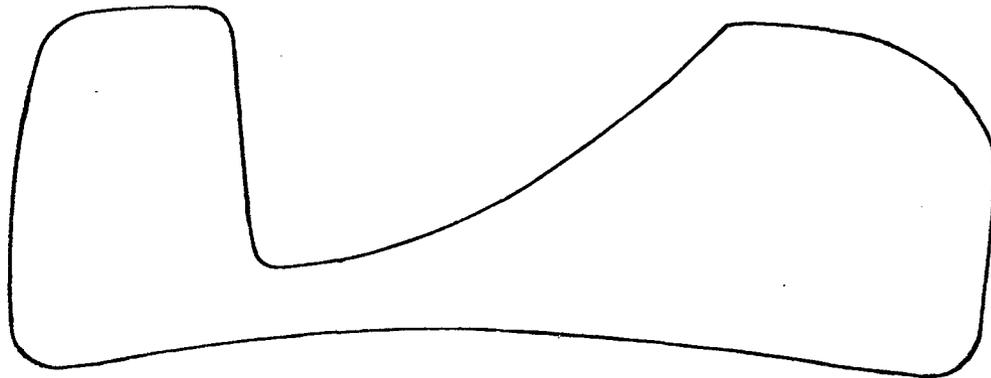
- Luego, se elige el ángulo formado entre uno de los brazos del che-
vron y la generatriz. Este ángulo será de 18° .

La maza de entrada como la maza superior llevan chevrones.

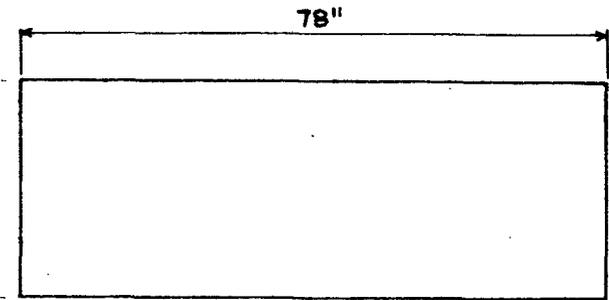
Para el Broquelado de las mazas (Chevrones), se utilizan plantillas--
normalizadas (caso de Paramonga), para pasos de 2 pulgadas (molinos 1
y 2), y para pasos de $1\frac{1}{2}$ " (molinos 3, 4, y 5), respectivamente.

El Broquelado se efectua por medio de un taladro automático.

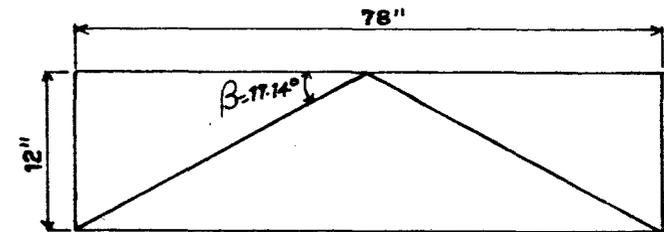
Ver, el croquis adjunto : A - 01.



PLANTILLA DE BROQUELADO PARA MAZAS DE
 $1\frac{1}{2}$ " DE PASO



MAZA DE 40" X 78"



PLANTILLA DE 2" DE PASO
(ESCALA NATURAL)

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA UNIC

FABRICA : Cooperati
va Azucarera Paramonga

Proyecto:

CHEVRONES

CROQUIS : A - 01

D) VARIACION DE LAS RANURAS DE ACUERDO A LA BATERIA DE MOLINOS

Las ranuras disminuyen siempre de los primeros a los últimos molinos por las razones siguientes :

- 1.- Los pedazos de bagazo se hacen cada vez más finas entre la cuchilla cañera o juego de cuchillas y el último molino. Entonces es lógico dar las dimensiones del ranurado, de acuerdo a la longitud de la batería.
- 2.- El ranurado sirve entonces para dividir al bagazo en forma más compacta, facilitando la extracción del jugo. Por esta razón se adopta ranuras grandes en los primeros molinos, para luego conseguir el trabajo de los siguientes molinos más eficaz.
- 3.- En mazas gastadas, no se harán ranuras grandes; porque la extracción sería muy deficiente, especialmente en los últimos molinos.

La variación en el ranurado tiene el inconveniente de obtener mazas de superficies diferentes. Pero este inconveniente se puede equilibrar adoptando ranuras múltiples.

Algunos países como Egipto y, Cuba han adoptado ranuras grandes desde los primeros molinos hasta los últimos, teniendo en cuenta el factor, de atascamiento en los últimos molinos; debido a la gran capacidad de molienda y, ranuras pequeñas para capacidades medias. Aunque estas decisiones dependen del tipo de planta de cada Ingenio Azucarero.

A continuación damos algunas referencias tan solamente, sobre la variación de ranurados en Baterías tipo, mediante el cuadro adjunto.

CUADRO 5.0.1. Distribución de Ranurados en Baterías Tipo

BATERIA	DESMENUZADORA	1er. M	2do. M	3er. M	4to. M
11 mazas	40 x 52	20x26	10x13	10x13	-
14 mazas	40 x 52	20x26	20x26	10x13	10x13
15 mazas	40 x 52	20x26	20x26	10x13	10x13

donde: p = paso = 52 mm , h = altura = 40 mm.

En este cuadro se supone que las 3 mazas de cada meline tienen las ranuras de las mismas dimensiones, que es el caso más frecuente. Sin embargo se puede utilizar en un mismo meline ranuras con dimensiones diferentes a condición que sean múltiples unas de las otras; siempre y cuando la masa superior y la masa de salida tengan el mismo ranurado. Entonces la masa cañera será diferente, debiendo ser sus ranuras dobles de las de los otros 2 cilindros (ranuras múltiples).

CUADRO 5.0.2. Pase de ranurado de melines (15 mazas y un juego de cuchillas - Caymanas)

Mel.	DESM.	1er. M	2do. M	3er. M	4to. M
Masa superior	: 40	20	10	10	10
Masa cañera	: 40	20	20	20	20
Masa bagacera	: 40	20	10	10	10

Las unidades, en mm. (melines de capacidades medias): 863 x 1980 mm.

En Hawaii por ejemplo se utilizan ranuras pequeñas, pero tiene el inconveniente de que las extremidades de los dientes se desgastan rápidamente más que los grandes y los peines trabajan mal. Mientras que de Caymanas tiene la ventaja de fabricar la alimentación del meline, forzando la entrada del bagase el cañero y de extracción el bagacero.

5.0.2. RAYADO DE MAZAS SUPERIOR E INFERIORES (CAÑERO Y BAGACERO)

COMPOSICION : 5 Molinos, de 3 mazas c/u.
LONGITUD DE LA MAZA : 78 pulgadas = 1981 mm.
DIAMETRO DE LA MAZA : 40 pulgadas = 1016 mm.

Un molino de azúcar, está constituido por 3 mazas: Maza Cañero, Maza Bagacero, y la Maza Superior.

MAZA CAÑERO (O MAZA DE ENTRADA).

La maza de entrada, está constituido por ranuras circulares, ranuras Messchaerts, y chevrones .

MAZA DE SALIDA. (MAZA BAGACERA).

Constituido por ranuras circulares y Messchaerts.

MAZA SUPERIOR

La maza superior (o mayor), está constituido por ranuras o engranajes circulares y por chevrones.

La Planta de Molienda, operará bajo 2 consideraciones siguientes :

- 1.- Los molinos 1 y 2, llevarán ranuras de 2" de Paso (50.8 mm), con un ángulo de 50°, de abertura de los dientes.
- 2.- Los molinos 3, 4 y 5, llevarán ranuras de 1 1/2" (38.1 mm) , y un ángulo de 50°.

Las mazas, se fabricará de Fierro fundido, con sus características de acuerdo al Plano : P - 03.

5.0.3. DESGASTE Y RENOVACION DE LAS MAZAS

El desgaste generalmente se origina por las siguientes causas:

- 1.- Por la acidéz del jugo.
- 2.- Por el rozamiento de los raspadores y de la cuchilla central.
- 3.- Por el paso de pedazos de fierro u otros objetos, que llegan a debilitar y a quebrar los dientes.
- 4.- Por el uso de la velocidad de rotación de las mazas muy elevadas.
- 5.- Por la necesidad de retornear a la maza cada 2 o 3 semanas, para restablecer los dientes rotos y la regularidad de su forma.

IMPORTANCIA DEL DESGASTE

En los molinos clásicos el desgaste máximo tolerable para una maza es del orden de 4 al 5%. Esto es, que para una maza nueva de 1000 mm. ϕ se desechará cuando el diámetro ha disminuido hasta 950 a 960 mm ϕ .

En los molinos modernos, el desgaste tolerable se dá por debajo del 5 por ciento.

En Java, se estima que el diámetro de los diferentes mazas del mismo molino no debe variar en más de un 3% y el desgaste es calculada en función del espesor del metal gastado por 100 días de molienda continua :

- Mazas de ranurados ordinarios	: 1.8 mm.
- Mazas con Messchaerts	: 2.0 mm.
- Messchaerts ensanchadas	: 1.0 mm.

Las mazas grandes en realidad manipulan en el transcurso de su vida útil un tonelaje muy superior a diferencia de las mazas pequeñas.

Por tal motivo se deberá calcular la vida útil de las mazas en Hrs. de

trabajo.

En Sud-Africa se toma por 1 mm. de desgaste del metal (2 mm. del ϕ) :

- Masa superior : 10,000 tons. de caña.

- Masa cañera : 16,000 tons. de caña.

- Masa bagacera : 9,000 tons. de caña.

Según TROMP (página 186), da como tolerancia máxima del desgaste los valores siguientes, por cada 100,000 tons. de caña molidas:

- Masas lisas : de 3 a 5 mm del ϕ , con una duración de 8 años de vida útil.

- Masas ranuradas: de 6 a 12 mm del ϕ , con una duración de 3 años de vida útil.

La cantidad 3 años lógicamente corresponde a safras medias de 200 a 240 días de 24 horas de molienda, para masas de cualquier tamaño.

Las masas desgastadas nunca se hará trabajar ni en el primero, ni en el último molino. En una batería corta de 11 masas, tampoco se debe efectuar el montaje en el 1er. molino, sino en el 2do. molino generalmente y cuando se trate de 15 masas se hará en el 3er. molino.

En la práctica, se realiza el montaje de masas en una batería de diámetros medios distintos del siguiente modo:

a. El menor diámetro en la entrada (como masa cañera)

b. El mayor diámetro en la salida (como masa bagacera)

c. El intermedio, como una masa superior.

5.1. DISEÑO DE LA CUCHILLA CENTRAL.- La cuchilla es un elemento muy importante en el conjunto de molinos, porque sirve de puente para el recorrido del bagase ; facilitando de este modo una buena compresión de aquél.

El ajuste de la cuchilla es fundamental para el buen funcionamiento de los molinos sin producirse atascamientos o atores del bagase.

La cuchilla central va montada sobre el tornabagase o puente de la cuchilla y la excéntrica está en contacto con el tornabagase para realizar el ajuste adecuado, ya sea en forma vertical (hacia arriba o hacia abajo) o horizontalmente (a la entrada o a la salida) mediante el templador.

SELECCION DEL MATERIAL:

Acero D1E - X120Mn12 (WN - 1.3401)

Brinell : 200 HB

Aleación : C 1.23 , Mn 12.5 %

Características:

Resistente a altas exigencias de golpe y resistente al desgaste, especialmente en piezas fundidas.

ACCESORIOS DE LA CUCHILLA CENTRAL.- Los accesorios están constituidos por los siguientes componentes:

1. El tornabagase, o llamado también " puente de la cuchilla" (bancada).
2. La excéntrica, es un elemento de pivote para levantar o bajar a la cuchilla con toda la bancada.

3. El templador, es un elemento auxiliar de la excéntrica; sirve como regulador, en el ajuste exterior del melino.

La cuchilla central llevará ranuras de las mismas dimensiones que el ranurado de la maza cañera y, se fabricará de la siguiente manera:

- Cuchilla central, de Acero fundido DIN - X120Ma12
- Ternabagazo o puente de la cuchilla central, de Fierro fundido ASTM Grade 30.
- La excéntrica, de Acero AISI - 3115.
- El templador, de Acero AISI - 1020.

Por lo tanto, la cuchilla central, como sus accesorios respectivos se fabricará de acuerdo al plano : P - 04.

5.2. CALCULO Y DISEÑO DE EJES.- Los ejes de transmisión o mufiones, se calculan en forma práctica y rápida mediante la flexión y torsión de árboles.

SELECCION DEL MATERIAL.

Acero AISI: 4340-H (DIN - 34CrNiMo6).

Características:

$$S_y = 6000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_u = 9000 \text{ Kg/cm}^2$$

Dureza Brinell: NDB = 238 HB

Alargamiento : 13 %

Contracción : 55 %

CÁLCULO DE EJES.

PHT = 226,000 Kg/mafía.

Cálculo del momento flector máximo:

$$M_1 = 0$$

$$M_2 = 226,000 \times 138.8 = 31368800 \text{ Kg} - \text{cm.}$$

$$M_3 = 0$$

Cálculo del momento torsor máximo:

$$T = \frac{Kw \times 974}{n} \quad (I)$$

Potencia del molino = 521 HP = 389.5 Kw.

Velocidad de rotación: n = 6.6 rpm.

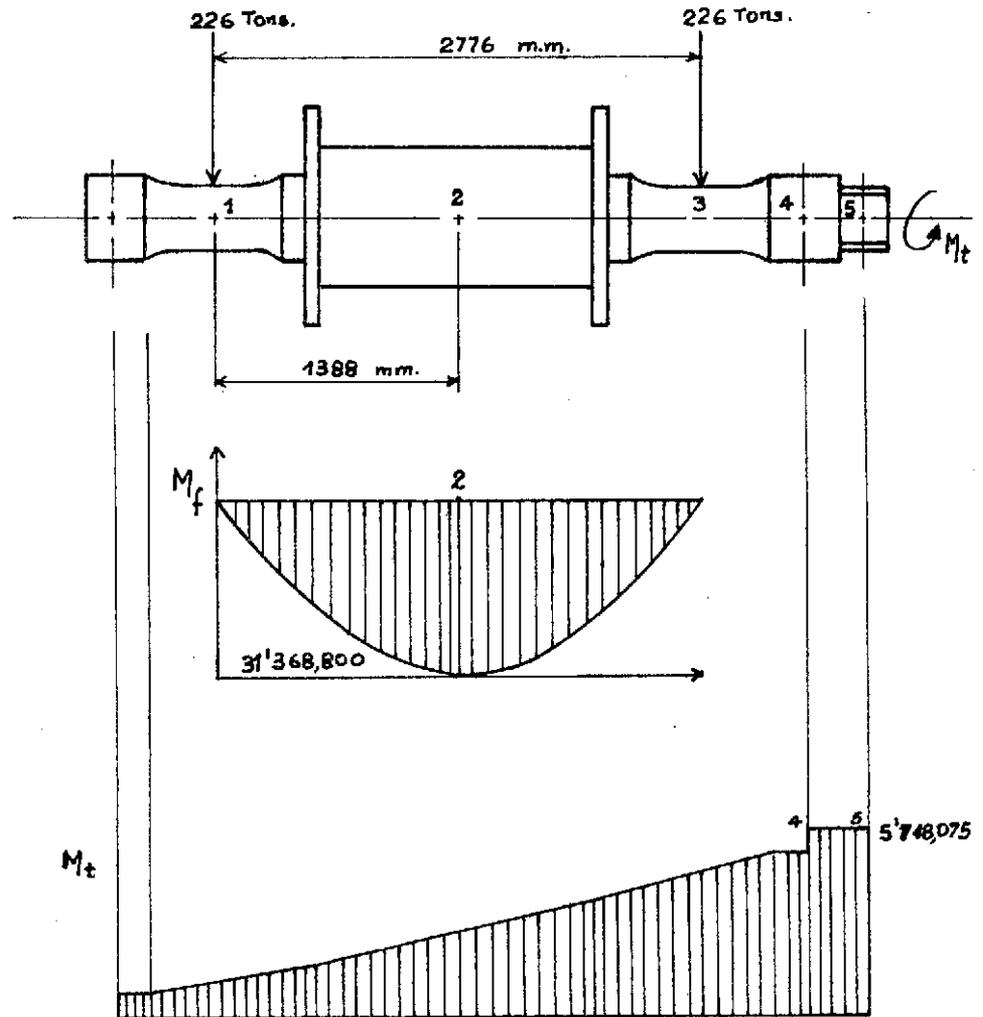
$$\text{Reemplazando valores en (I): } T = \frac{389.5 \times 974}{6.6} = 57,480.75 \text{ Kg-m.}$$

$$T = 5'748,075 \text{ Kg} - \text{cm.}$$

Teniendo en cuenta la hipótesis de la "Máxima energía de distorsión", se reduce las dos tensiones en una equivalente de flexión:

$$M_0^2 = (M_2^2 + 1/2 M_T^2) \quad (II)$$

$$M_0 = (31'368,800)^2 + 0.5(5'748,075)^2 \quad \text{1/2} = 31'631026 \text{ Kg} - \text{cm.}$$



$$S_d = \frac{32 \times M_e}{\pi \times d^3} = \text{esfuerzo de dise\~{n}o}$$

$$S_d = \frac{S_y}{f_s} = \frac{6000}{2.43} = 2469 \text{ Kg/cm}^2$$

f_s = factor de seguridad = 2.43

$$d^3 = \frac{32 \times 31'631,026}{\pi \times 2469} = 130,494.53 \text{ cm}^3$$

$$d = 50.72 \text{ cm} = 19.97'' = 20'' \phi$$

Definitivamente entonces, el diámetro del muñón será de 508 mm. ϕ (20" de diámetro). Ver plano de fabricación: P - 05.

COMPROBACION DE LOS EJES POR FATIGA.

Generalmente la rotura por fatiga se produce por debajo del esfuerzo de fluencia del material y, como el eje de 508 mm ϕ debe ser maquinado para recibir los elementos que llevará, tal como: entalladuras, esmerilados, chaveteros, escalonamientos, etc. Los cuales originan que el árbol se debilite creando la necesidad de comprobar los cálculos en estos puntos, haciendo un análisis de resistencia a la fatiga. Entonces el análisis de falla se hará mediante el criterio de la "máxima energía de distorsión" (segundo método de GOODMAN).

Cálculo del esfuerzo por flexión:

$$\text{En el punto 2,} \quad S_f = \frac{32 \times M_{\text{máx.}}}{\pi \times d^3} = \frac{32 \times 31'368,800}{\pi (50.8)^3}$$

$$S_f = 2437 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculo del esfuerzo de torsión, en el punto crítico 5:

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times Mt}{\pi \times d^3} = \frac{16 \times 5'748,075}{\pi \times (50.8)^3}$$

$$\tau_{xy} = 223 \text{ Kg/cm}^2$$

1. FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS A FATIGA

Los esfuerzos localizados por entalladuras, cambios de diámetros, canales chaveteros, tipo de cargas, ajuste a presión originan una reducción considerable en la resistencia a la fatiga, y no sería nada de extrañar que las roturas por fatiga se inicien en tales irregularidades geométricas, razones por las cuales se requiere de un diseño adecuado y de un estricto control en el proceso de fabricación.

El factor geométrico teórico de concentración de esfuerzos a fatiga, se localiza mediante el momento flector y torsión de ejes de sección circular.

- Factor geométrico teórico a flexión (K_{tF}) :

$$D = \text{diámetro de entalladura} = 573 \text{ mm } \phi$$

$$d = \text{diámetro del eje} = 508 \text{ mm } \phi$$

$$r = \text{radio de entalladura} = 50 \text{ mm}$$

$$D/d = 573/508 = 1.13$$

$$r/d = 50/508 = 0.098$$

$$\text{Por consiguiente: } K_{tF} = 1.65$$

- Factor geométrico teórico a torsión: $K_{tT} = 1.275$

- Sensibilidad a entalladuras: $q = \frac{K_{tF} - 1}{K_t - 1}$

Cuando se tengan radios de entalladuras grandes y materiales de alta resistencia, el valor de "q" real es cercano a la unidad y para efectos de diseño se puede asumir este valor sin incurrir en mayor error.

$K_F = 1 + q(K_t - 1)$ = valor real de concentración de esfuerzos a fatiga.

Por consiguiente: $K_{FF} = K_{tF} = 1.65$

2. CALCULO DE ESFUERZOS CRITICOS

Teniendo en cuenta el criterio de la "Máxima energía de distorsión" (segundo método de GOODMAN), los esfuerzos equivalentes son:

$$S_m^2 = S_{xm}^2 + S_{ym}^2 + S_{xm}S_{ym} + 3\tau_{xym}^2 \quad (A)$$

$$S_a^2 = S_{xa}^2 + S_{ya}^2 + S_{xa}S_{ya} + 3\tau_{xya}^2 \quad (B)$$

De (A), se reduce : $S_m^2 = 3\tau_{xym}^2 = 1.73(223)^{0.5} = 386 \text{ Kg/cm}^2$

De (B), se reduce : $S_a^2 = S_{xa}^2$

$$S_a = S_{xa} = K_{tF}(S_f) = 1.65 \times 2437 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_a = 4021 \text{ Kg/cm}^2$$

En materiales dúctiles el factor K_{FF} afecta a la carga variable, más no a la carga estática.

3. LIMITE DE FATIGA

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'e$$

donde: S_e = límite de fatiga correcto

$$S'e = 0.5 \times S_u = 0.5 \times 9000 = 4500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_a = \text{factor de acabado superficial} = 0.73$$

$$K_b = \text{factor de tamaño} = 0.60$$

$$K_c = \text{factor de confianza, con probabilidad de falla de 0.1 \%}$$

$$K_c = 0.752$$

$$K_d = \text{factor de temperatura} = 1.0$$

$$K_e = \text{factor por efectos varios} = 1.0$$

Reemplazando estos valores, se calcula el límite de fatiga corregido:

$$S_e = 0.73 \times 0.60 \times 0.752 \times 1.0 \times 1.0 \times 4500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_e = 1482.2 \text{ Kg/cm}^2$$

Con los datos obtenidos en el precedente, se calcula los factores de seguridad por fluencia y por fatiga.

CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR FATIGA:

$$N_f = \frac{S_u \times S_e}{S_m \times S_e + S_a \times S_u} = \frac{9000 \times 1482.2}{386 \times 1482.2 + 4021 \times 9000}$$

$$N_f = 0.36$$

CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR FLUENCIA:

$$N_y = \frac{S_y}{S_m + S_a} = \frac{6000}{386 + 4021} = 1.36$$

De acuerdo a los factores de seguridad obtenidos, se tiene la completa confianza de que los ejes no fallarán por fatiga ni por fluencia:

$$N_f = 0.36 < f_s = 2.43 \quad \text{OK!}$$

$$N_y = 1.36 < f_s = 2.43 \quad \text{OK!}$$

5.3. CONTRAEJES Y DADOS DE ACOPLA.- Las masas superiores de los meli-
nes deberán levantarse durante la operación varios milímetros, su
movimiento de la masa mayor deberá permitir este levantamiento . Per
tal motivo, la extremidad del eje del último engrane (salida del últi
mo reductor de la turbina) se hace terminar en forma cuadrada, la mis
ma forma se da al extremo del eje de la masa superior, interponiénd
ese entre los dos extremos una pieza cuadrada que se le denomina "ba
rra de acoplamiento e contraeje".

La barra de acoplamiento une los extremos de los dos ejes por medio
de dos dados de acople e coples.

CONDICIONES DE DISEÑO.

Por razones de montaje, la barra de acoplamiento deberá tener una lon
gitud de 8 a 10 cm. mayor a la longitud de los dos dados de acople de
las extremidades, superpuestos, y deberá tener 1 ó 2 cm. más pequeña
que el intervalo que separa los extremos de los ejes que une. Las ex
tremidades generalmente se cortan rectas.

MATERIAL.

1. Acero AISI: 4340-H (DIN: 34CrNiMo6), con una aleación de: C 0.34 ,
Si 0.30, Mn 0.50, Cr 1.5, Mo 0.20, Ni 1.5 %.

Con una dureza brinell de : 238 HB , y esfuerzos de rotura y fluencia
de 90 Kg/mm² y 65 Kg/mm² respectivamente.

2. Fierro fundido.

La barra de acoplamiento y el dado de acople se fabricará del mate
rial de acero y de fierro fundido respectivamente, de acuerdo al pla
ne : P - 05.1

5.4. DISEÑO DE LOS SOPORTES LATERALES O VIRGENES.- La virgen o soporte, es la estructura del conjunto de sistemas que ensamblados forman la máquina (molino).

Sobre esta estructura, los muñones del eje de la maza superior se apoyan conjuntamente con los bronceos (chumaceras superiores) y del mismo modo los muñones del eje de la maza inferior.

SELECCION DEL MATERIAL.

Acero ASTM: 517 (DIN: 8851)

Esfuerzo de fluencia : 7000 Kg/cm².

Esfuerzo de rotura : 11,500 Kg/cm².

Dureza Brinell : 360 HB

Tipo de aleación : C 0.20, Si 0.30, Mn 1.0, Cr 0.60, Mo 0.25,
V 0.08, Ti 0.03 %

Elongación min. % : 17

Contracción min. % : 42

Es resistente a la abrasión por impactos y rozamiento.

La máquina trabajará en contacto por la acidez del jugo (por las salpicaduras que se pueden producir) y expuestas a las brisas del mar. Estos factores tienen la tendencia de destruir al material por oxidación, sí, no se le proporciona un material adecuado.

La máquina (los soportes laterales) a través de su vida útil estará propensa a soportar golpes bruscos y oscilaciones, que desde luego deben ser absorbidos por la estructura o la virgen sin ninguna deformación.

CALCULO DEL ESPESOR DE LA VIRGEN.

Se analizará el comportamiento de la virgen frente a la carga aplicada sobre el eje de la maza superior, bajo las siguientes consideraciones :

- La presión hidráulica total, es aplicada sobre los muñones del eje de la maza superior mediante el pistón hidráulico, que se desliza dentro del cabezote hidráulico por la presión del aceite proveniente del acumulador hidráulico.
- La carga crítica real que puede producir inestabilidad general a la estructura, se localiza sobre los cojinetes superiores del eje de la maza superior.
- En los sistemas estáticamente indeterminados, no conduce siempre a la inestabilidad general de la estructura.
- La rigidez a la deformación de la estructura.
- La presión interior que actúa en el semicircunferencial de la virgen, se localiza sobre la superficie interior del semi-cilindro del eje de la maza superior.

Por estas razones, la virgen e el soporte lateral se analizará tomando el criterio de cilindros de pared delgada sometidos a presión interior.

DATOS DE CALCULO.

Presión interior : $P_i = 310 \text{ Kg/cm}^2$. = P.H.T.

Diámetro interior : $D_i = 50.8 \text{ cm.} = D_o$. del muñón

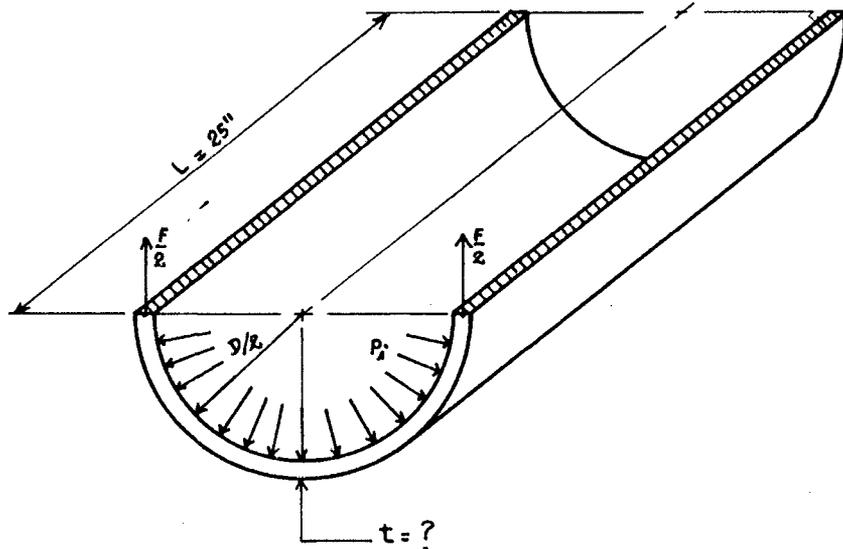
Esfuerzo del material : $\sigma_f = 7000 \text{ Kg/cm}^2$.

Factor de seguridad : $f_s = 2.6$

Espesor de la plancha: $t = ?$

Aplicando la fórmula de cilindros abiertos de pared delgada, tenemos:

$$\frac{F}{2} = \pi \times D_i / 2 \times L \quad \longrightarrow \quad F = \pi \times D_i \times L$$



La fuerza que actúa sobre el material: $\frac{F}{2} = \sigma_d \times t \times L$

$$F = 2 \times \sigma_d \times t \times L$$

Luego, igualando las dos fuerzas se tiene: $t = \frac{\pi \times D_i}{2 \times \sigma_d}$

$$\text{Esfuerzo de diseño } (\sigma_d) = \frac{\text{esfuerzo de fluencia}}{f_s} = \frac{7000}{2.6}$$

$$\sigma_d = 2692 \text{ Kg/cm}^2.$$

Reemplazando valores respectivos, el espesor será:

$$t = \frac{310 \text{ Kg/cm}^2 \times 50.8 \text{ cm}}{2 \times 2692 \text{ Kg/cm}^2} = 2.925 \text{ cm} = 3.0 \text{ cm} = 1.1875 \text{ pulgadas.}$$

La carga total aplicada será absorbida por las caras laterales, ubicándose en el centro de la virgen y las caras transversales tendrán el área suficiente para garantizar la rigidez del conjunto. Como el esfuerzo máximo se origina por el esfuerzo circunferencial correspondiente a la superficie interior del cilindro (considerado la mitad del cilindro) en el centro de la virgen, distribuidos uniformemente en la dirección radial; será también capaz de soportar las oscilaciones y movimientos bruscos aquél, sin producir ninguna deformación del sistema.

Por consiguiente las vírgenes del melino, se fabricará con plancha lisa de acero ASTM 517, de 3.0 cm de espesor (1.1875").

Ver plano de fabricación : P - 02.

SOLDADURA.

Las caras laterales y transversales de la virgen inclinada del melino serán unidas mediante la soldadura OERLIKON clase "AP" AWS E - 6011 -- cordón de raíz y el cordón de acabado con soldadura OERLIKON clase -- "S" AWS E - 6013.

ESPECIFICACION.- La soldadura es un elemento importante en la fabricación de máquinas. Por lo consiguiente indicamos las recomendaciones generales siguientes:

- El tamaño mínimo del cordón de soldadura de filete, en lo posible

deberá estar sujeto a lo indicado en la tabla (5-01).

- El tamaño máximo de un cordón de soldadura de filete soldado a lo largo de los bordes a unir será:

para: t , menor que $1/4"$; el tamaño del cordón será menor o igual a " t ".

$$t \geq 1/4" \longrightarrow w \leq t - 1/16"$$

- Cuando se diseñe un miembro que sirva sólo para dar rigidez y no se pueda evaluar las cargas que actúan sobre él, se puede considerar :

$$w = 0.25t \text{ a } 0.375t$$

para cordones soldados a ambos lados.

- La longitud efectiva de un cordón de soldadura de filete es la longitud total del cordón de tamaño completo, incluyendo la longitud "deblada en una esquina".

- La longitud efectiva mínima de un cordón de soldadura de filete deberá ser:

$$L_w \geq 4w$$

- La longitud efectiva de un segmento de cordón de soldadura de filete en cordones intermitentes, deberá ser : $L_w \geq 4w$, y no menor de 1.5".

Teniendo en cuenta estos criterios, seleccionamos el tamaño mínimo del cordón de filete en función del espesor " t " de la plancha:

$$3/4" < t \leq 1.5" \longrightarrow w_{\min} = 5/16" \quad (\text{tabla 5-01})$$

La estructura del meline (virgen inclinada) será soldado con soldadu-

ra de filete, por ambos lados con un cordón de:

$$w = 0.375t = 0.375 \times 1.1875" = 1/2"$$

y a lo largo de los bordes a unir, con: $w = 3/4"$.

Tabla 5-01. Tamaño mínimo del cordón de soldadura de filete

ESPESOR DE LA PLANCHA MÁS GRUESA		TAMAÑO MÍNIMO DEL CORDÓN DE FILETE
t	1/4"	1/8"
1/4" t	1/2"	3/16"
1/2" t	3/4"	1/4"
3/4" t	1 1/2"	5/16" <u>1/</u>
1.5" t	2 1/4"	3/8"
2 1/4 t	6"	1/2"
t	6"	5/8"

Tabla 5-02. Requerimientos del material de aporte según AWS

ELECTRODO AWS	ESFUERZO DE ROTURA MIN	ESFUERZO DE FLUENCIA MIN	ELONGACION %
E 60XX	62 - 67	50 - 55	17 - 25
E 70XX	72	60	17 - 22
E 80XX	80	65 - 70	22 - 24
E 90XX	90	78 - 90	24
E 100XX	100	90 - 102	20
E 110XX	110	95 - 107	20

Esfuerzo de rotura y de fluencia están en unidades de KPSI.

5.5. DISEÑO DEL CABEZOTE HIDRAULICO DEL MOLINO DE VIRGEN INCLINADA.-

Se llama cabezote hidráulico a aquel que en cuyo interior se des-
plaza el pistón hidráulico de 12" ϕ (30.48 cm ϕ) mediante la pre-
sión del aceite (310 Kg/cm²) proveniente del acumulador hidráulico.

El cabezote hidráulico cumple la función de elasticidad para el levanta-
miento flexible de las masas superiores, debido al movimiento del
pistón. Permite de esta manera el buen funcionamiento de los molinos durante la molienda.

El cabezote hidráulico, está constituido por 2 partes que son:

1. La tapa superior de seguridad
2. El cuerpo del cabezote

CONDICIONES DE DISEÑO .

1. Material : Acero ASTM - 517
Esfuerzo de fluencia = 7000 Kg/cm²
2. Material : Hierro fundido ASTM - 40 (SAE - 121)
Esfuerzo de retura a tracción = 2812 Kg/cm²
Esfuerzo de retura a compresión = 9842 Kg/cm²
Dureza brinell = 235 HB

CALCULO DEL ESPESOR DE LA TAPA SUPERIOR.

$$\text{Esfuerzo de diseño} = \frac{\text{esfuerzo de fluencia}}{\text{factor de seguridad}} = \frac{7000}{1.15} = 6087 \text{ Kg/cm}^2$$

Presión hidráulica total : P.H.T. = 226,000 Kg/muñón = W

Diámetro del pistón hidráulico : Dp = 30.48 cm (12" ø)

$$r = Dp/2 = 15.24 \text{ cm}$$

Diámetro exterior de la tapa superior : De = 53.0 cm (20 7/8" ø)

$$R = De/2 = 26.5 \text{ cm}$$

Aplicando la fórmula de "Placas planas circulares" con una carga uniformemente distribuidas en el centro de diámetro "2r" y con los bordes empotrados, calculamos el espesor "t" correspondiente:

$$t^2 = \frac{3 \times W}{2 \times 3.1416 \times \sigma_d} \left[(1 + u) \ln \frac{R}{r} + (1 + u) \frac{r^2}{4R^2} \right]$$

donde : u = 0.3

Reemplazando valores respectivos, se tiene:

$$t^2 = \frac{3 \times 226,000}{2 \times 3.1416 \times 6087} \left[(1+0.3) \ln \frac{26.5}{15.24} + (1+0.3) \frac{15.24^2}{4 \times 26.5^2} \right]$$

Luego:

$$t = 3.8 \text{ cm} = 1 \frac{1}{2}''$$

Por consiguiente el espesor de las tapas superiores del cabezote hidráulico se fabricará de plancha de acero ASTM - 517, de 1 1/2" de espesor y el cuerpo del cabezote de acero fundido ASTM - 517.

Se fabricará el cabezote hidráulico de acuerdo al plano : P - 06.

5.6. SELECCION Y CALCULO DE COJINETES.- La lubricación es un factor importante en el diseño de cojinetes entre las superficies de roce de elementos de máquina, con el objeto de eliminar o reducir la superficie real de contacto, permitiendo un menor desgaste y un coeficiente de rozamiento más bajo.

Los lubricantes más utilizados son los aceites y las grasas, aunque se puede utilizar cualquier sustancia que tenga las propiedades requeridas de viscosidad.

Los cojinetes, son piezas que están previstas de pasos para la circulación del agua de enfriamiento y de ranuras para la lubricación en la superficie de rozamiento. La lubricación deberá hacerse por una ranura que se traza siguiendo una generatriz a 45° aproximadamente, adelantado de la zona de presión máxima y que se hará terminar en bisel en el sentido del movimiento. No es recomendable hacer canales de lubricación en la zona de alta presión porque se consumiría mucho aceite y la lubricación sería defectuosa.

Los cojinetes superiores tendrán guías largas, a fin de no deformarse por la masa superior cuando éste se levanta y su arista trasera debe estar ligeramente redondeada para que no se trabo, de igual forma deberá estar rigurosamente bien maquinada la cara trasera, pulida y tersa como la plaza de frenamiento de la virgen que le recibe.

SELECCION DEL MATERIAL.

Brecoo ferrosos ASTM - B139-C

$$S_y = 4570 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_u = 5624 \text{ Kg/cm}^2$$

Dureza Rockwell : B85

CALCULO DE COJINETES DE BRONCE

Para efectos de diseño es mejor analizar en posición de "marcha", en condiciones que cuando el eje del muñón se separa del cojinete por medio de una película de lubricante (en condiciones de lubricación por fricción o película gruesa).

N = velocidad de rotación = 6.6 rpm.

n = $6.6/60 = 0.11$ rpa.

c = huelge diametral = 0.12065 mm (0.00475", juego radial máximo)

d = diámetro del muñón = 508 mm ϕ (20" ϕ)

l = longitud del cojinete

l = 635 mm (25")

F = 226,000 Kg (498,236 Lib) = carga radial sobre el cojinete

$h_o = 0.01875$ mm (0.00075") = espesor mínimo de la película de lubricante.

Temperatura de entrada del lubricante : 38 °C (100 °F)

Temperatura de salida del lubricante : 71 °C (160 °F)

- Cálculo del juego relativo:

$$J_r = c/d = \frac{0.00475}{20} = 0.00024$$

Ajuste: H7/g6

- Variable del espesor mínimo de película: $h_o/c = 0.15$

- Número característico del cojinete:

$$S = 0.028 \quad (\text{de la fig.2, con } l/d = 1.25)$$

- Carga por unidad de área proyectada del cojinete:

$$P = \frac{F}{dl} = \frac{226,000}{50.8 \times 63.5} = 70 \text{ Kg/cm}^2 = 996 \text{ psi.}$$

- Viscosidad absoluta del lubricante:

$$\mu = \frac{P \times S}{n} \left(\frac{c}{r} \right)^2 = \frac{996 \times 0.028}{0.11} \left(\frac{0.00475}{10} \right)^2$$

$$\mu = 57.2 \times 10^{-6} \frac{\text{Lib} \cdot \text{Seg}}{\text{pulg}^2} = 0.3945 \text{ Pa} \cdot \text{S}$$

$$\mu = 394.5 \text{ centipoise}$$

- Selección del lubricante:

Aceite SAE - 60 (de la tabla : 5-03 , $T = 38 \text{ }^\circ\text{C} = 100 \text{ }^\circ\text{F}$)

Para seleccionar el tipo de aceite lubricante, es necesario calcular la viscosidad cinemática (ver tabla 5-03).

$$\text{Viscosidad cinemática} = \frac{\mu/\text{Pa} \times S}{0.09} \text{ estokes} = \frac{0.3945}{0.090} \text{ st}$$

$$V = 4.38 \text{ St} = 438 \text{ centistokes}$$

- Variable del incremento de temperatura:

$$J \delta C_H \Delta T/P = 6.5 \quad (\text{de la figura 9.})$$

- Incremento de temperatura:

$$\Delta T = \frac{6.5P}{J\delta C_H} = \frac{6.5 \times 996}{9336 \times 0.0311 \times 0.42} = 53 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura máxima del lubricante:

$$T_{\text{Max.}} = 100 + 53 = 153 \text{ } ^\circ\text{F} = 67 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 71 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

- Temperatura media del lubricante:

$$T_m = 0.5(38 + 67) = 52.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Localización del espesor mínimo de la película:

$$\theta^\circ = 30.5^\circ \quad (\text{de la figura 3.})$$

- Relación de presión:

$$P/P_m = 0.32 \quad (\text{de la figura 7.})$$

- Presión máxima del lubricante: $P_m = 996/0.32 = 3112.5 \text{ psi.}$

$$P_m = 219 \text{ Kg/cm}^2$$

- Localización de la presión máxima y presión cero:

$$\theta_{P_{\text{max}}} = 17.5^\circ \quad \theta_{P_0} = 44^\circ \quad (\text{de la figura 8.})$$

- Variable del flujo: $Q/\text{ronl} = 4.6 \quad (\text{de la figura 5.})$

- Variable del coeficiente de fricción: $(r/c)f = 0.17 \quad (\text{fig. 4})$

- Flujo del lubricante a la entrada:

$$Q = 4.6 \text{rcml} = 4.6 \times 10 \times 0.00475 \times 0.11 \times 25$$

$$Q = 0.600875 \text{ pulg}^3/\text{seg} = 9.85 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}.$$

- Coeficiente de fricción:

$$f = 0.17(e/r) = 0.17 (0.00475/10) = 8.075 \times 10^{-5}$$

- Relación de flujo:

$$Q_s/Q = 0.88 \quad (\text{de la figura 6.})$$

- Cantidad de lubricante que fluye por los extremos:

$$Q_s = 0.88 \times Q = 0.88 \times 0.600875 = 0.53 \text{ pulg}^3/\text{seg}.$$

$$Q_s = 8.66 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}.$$

- Torque de fricción:

$$T = f F r = 8.075 \times 10^{-5} \times 498,236 \times 10 = 402 \text{ Lib} - \text{pulg}.$$

$$T = 463 \text{ Kg} - \text{cm}.$$

- Potencia perdida por fricción:

$$\text{Pot.} = \frac{T \times N}{63000} = \frac{402 \times 6.6 \text{ HP}}{63000} = 0.042 \text{ HP}$$

$$\text{Pot.} = 0.032 \text{ Kw}.$$

Por consiguiente, el aceite SAE - 60 satisface para las situaciones extremas del juego radial e huelgo diametral, además, el espesor mínimo de la película estaría por encima de lo requerido. El hecho de haber escogido el lubricante indicado significará un incremento pequeño de la temperatura máxima; pero para efectos de diseño es una aproximación sin incurrir en mayor error. En consecuencia la temperatura de trabajo del lubricante no deberá sobrepasar 50 °C.

Los cojinetes del eje superior como de los ejes inferiores, se fabricará de acuerdo al plano : P - 07.

TABLA 5-03. COMPARACION DE LUBRICANTES SAE (T = 100 °F = 38 °C)

LUBRICANTE	VISCOSIDAD SAYBOLT SSU	VISCOSIDAD CINE MATICA
SAE 10	165 - 240	35.4 - 51.9
SAE 20	240 - 400	51.9 - 86.6
SAE 30	400 - 580	86.6 - 125.5
SAE 40	580 - 950	125.6 - 205.6
SAE 50	950 - 1600	205.6 - 352.0
SAE 60	1600 - 2300	352.0 - 507.0
SAE 70	2300 - 3100	507.0 - 682.0

Viscosidad cinemática, en centistokes (cSt).

NOTA N^o 1.- Tabla de Cojinetes, ver en el apéndice.

NOTA: 1 poise = 69,000 poises = 69,000 x 10³ centipoises.

5.7. SELECCION Y CALCULO DE CORONAS DE ENVOLVENTE COMPLETA.- En cuanto al diseño del diente de la corona en particular, en los llamados Full Invelute de "Fulten", Full Invelute y Composite Invelute de "Caldwell Foundry", su tendencia es a buscar el aprovechamiento máximo de las masas.

Un juego de coronas (o pifiones) de este tipo puede trabajar en condiciones de seguridad, hasta con 3 pulgadas (76 mm.) de diferencia entre centros, pero no es aconsejable llegar hasta estos límites máximo y mínimo. Se prefiere promediar entre estas distancias y sostener como máximo 2 pulgadas (50.8 mm.) de distancia entre los círculos de paso. Por ejemplo: una corona que se pide para trabajar de 33 pulgadas a 36 pulgadas entre centros, no debe nunca llegar a estas medidas sino promediar su variación entre estos límites.

El caso del número de dientes es muy corriente; hay ingenios que usan coronas de 18 a 19 dientes, según las necesidades que se tengan coronas adaptables a cualquier parte del tandén sin necesidad de un tipo específico para cada melino.

Hoy en día se hacen las coronas de 17 dientes, ya que este número permite diseñar un diente más largo, logrando una variación mayor de distancia entre centros de masas y por ende mayor adaptación a la versatilidad de melinos.

Los dientes de una corona se pueden hacer de dos formas: amoldados y cortados a máquina. Las coronas de diente amoldado son vendidas directamente por las fundiciones de acero, para el cual se hacen plantillas con la forma de la corona procurando diseños adecuados en las medidas, sobre todo en la exactitud del perfil del diente como de su al-

tura. Con una plantilla se pueden fundir muchas cerenas similares; se hacen los respuestos con mucha rapidez y con ventajas en el precio de adquisición, comparada con la cerena de diente cortado a máquina.

En el caso específico de la cerena, no existe diferencia ponderable entre el diente amoldado y el cortado a máquina, ya que debido al tamaño grande de los dientes y a las lentas revoluciones a que trabaja, no es necesaria la perfección de superficie.

SELECCION DEL MATERIAL.

Acero Fundido SAE 4640 - WQT 1000 (AISI - 4640).

$S_u = 10686 \text{ Kg/cm}^2$ Esfuerzo de rotura a tracción

$S_y = 9140 \text{ Kg/cm}^2$ Esfuerzo de fluencia

donde: WQT 1000 (538 °C) = tratamiento térmico en aceite a 538 °C.

Dureza Brinell (NDB): 248 a 300 HB

CONDICIONES DE DISEÑO.

$D_e = 1051 \text{ mm. } \phi \text{ (} 41 \frac{3}{8} \text{'' } \phi \text{)}$ Diámetro exterior

$D = 892 \text{ mm. } \phi \text{ (} 35 \frac{1}{8} \text{'' } \phi \text{)}$ Diámetro de paso

$Z = 17$ dientes Número de dientes de la cerena

$D_r = 695 \text{ mm. } \phi \text{ (} 27 \frac{3}{8} \text{'' } \phi \text{)}$ Diámetro de fondo o de raíz

$F = 18'' = 457 \text{ mm}$ Ancho del diente

$N = 6.6 \text{ rpm}$

$P_d = \frac{Z}{D}$ Paso diametral

CALCULO DE LOS PIÑONES POR RESISTENCIA

Empleando la ecuación de la tensión, por flexión de LEWIS para obtener la longitud necesaria del diente.

$$St = \frac{Ft K_e Pd K_s K_m}{K_v F J} \quad (I)$$

donde:

$$St \leq \frac{Sat \cdot K_l}{K_T \cdot K_R} \quad (II)$$

$K_R = 1.6$ Factor de seguridad

$K_l = 1.1$ Factor de vida

$K_T = 1.0$ Factor de temperatura

$Sat = Sy = 9140 \text{ Kg/cm}^2$ Esfuerzo permisible del material

de (II) : $St = \frac{9140 \times 1.1}{1.0 \times 1.6} = 6284 \text{ Kg/cm}^2 = 89,388 \text{ psi.}$

de (I) : $F = \frac{Ft K_e Pd K_s K_m}{K_v St J}$

$Ft = 181,440 \text{ Kg.} = 400,000 \text{ Lib.}$ (Asumido)

$K_e = 1.25$ Factor de sobre carga

$K_s = 1.0$ Factor de tamaño

$K_m = 1.6$ Factor de distribución de carga

$K_v = 0.95$ Factor dinámico

$J = 0.30$ Factor geométrica

$P_d = 0.48394"$ Paso diametral

Con estos datos obtenidos, se calcula el ancho necesario del diente.

$$F = \frac{400,000 \times 1.25 \times 0.48398 \times 1.0 \times 1.8}{0.95 \times 89,388 \times 0.30} = 17.098 \text{ pulg.}$$

$$F = 434.28 \text{ mm.} < 457.2 \text{ mm.}$$

Luego:

$$S_t = \frac{400,000 \times 1.25 \times 0.48398 \times 1.0 \times 1.8}{0.95 \times 17.098 \times 0.3} = 89,371 \text{ Lib/pulg}^2$$

Debe cumplirse por (II):

$$S_t < \frac{S_{at} \times K_I}{K_T \times K_R} \longrightarrow 89,371 < 89,388 \quad \text{OK!}$$

Con lo que se concluye que los datos considerados son correctos y satisfacen las condiciones de los esfuerzos de fatiga por resistencia.

Por consiguiente, el piñón (o corona) se dimensiona completamente por las condiciones normales de trabajo, con los datos siguientes: $Z = 17$ dientes, $D_o = 41 \frac{3}{8}"$ y $D_r = 27 \frac{3}{8}" \phi$.

Ver, plano de fabricación: P - 08.

5.8. ACCESORIOS DEL MOLINO.- Los accesorios respectivos del molino in
dicado son los siguientes:

- Los guardajugos
- Los raspadores (o peines)
- Los alimentadores del bagazo

LOS GUARDAJUGOS.

Los guardajugos de los molinos van fijos siempre al cilindro superior con la finalidad de no dejar pasar el jugo hacia los mufiones, cojinetes y las tapas exteriores de la virgen.

El juego que se debe conservarse entre los guardajugos de la masa superior y las paredes laterales de los cilindros inferiores es de 1 milímetro aproximadamente.

Se utilizará para fabricar plancha de Acero DIN - X120Mn12, de 1 1/4" de espesor. Ver plano: P - 09.

RASPADORES.

Los raspadores (o peines), son elementos limpiadores del bagazo, con la finalidad de que el jugo pueda escurrir libremente por las ranuras de las masas de entrada como de salida.

La masa cañera lleva raspador Messchaerts, debido al ranurado de la masa. La masa bagacera como la superior llevan siempre raspadores ordinarios.

Los alimentadores son aquellos que proporcionan una buena alimentación del bagazo sin producir atascamientos en los molinos. Ver: P-09.

5.9. INFORMACION GENERAL Y ORDEN DE INSTALACION.- La secuencia de instalación está referida al molino de 3 masas de virgen inclinada.

IDENTIFICACION DE PIEZAS.- Todas las piezas van estampadas de acuerdo al sistema de marcaje como se indica a continuación:

1. MOLINOS.

Los molinos se identifican separadamente de modo alfabético comenzando desde la primera unidad del tren de molinos.

2. ELEMENTOS DE LOS EQUIPOS.

Todos los elementos del lado del piñón, marcados G.

Todos los elementos del lado de la ceta, marcados T.

Los elementos en el extremo de alimentación (cañere), marcados C.

Los elementos en el extremo de salida (bagacere), marcados B.

3. INSPECCION.

Inspeccionar detenidamente todas las piezas para asegurar que no se han producido desperfectos debidos a su expedición o transporte o bien la maquinaria estuvo inactiva por un período prolongado antes de la instalación: quitar las cubiertas protectoras de los muñones y de las piezas brillantes, reengrasando y rebarnizando según convenga.

NOTA: Todos los cojinetes van asentados en el muñón durante la instalación. No obstante, podrá producirse una deformación durante el transporte, por lo cual los cojinetes deberán probarse en los muñones antes de la instalación definitiva.

Todos los conductos de lubricación deberán limpiarse con cuidado ulteriormente, usando aire comprimido a través de los mismos. Los cojinetes deberán protegerse con cubierta de plástico mientras se esté instalando el molino.

ATENCIÓN: Durante su fabricación, los conductos de los cojinetes refrigerados por agua son sometidos a presiones equivalentes a 3.511 --- Kg/cm² (50 Lb/pulg²). Esta presión no deberá rebasarse cuando se --- prueben nuevamente los conductos de agua.

4. SECUENCIA TIPICA DE MONTAJE.

1. Verificar los niveles de cimentación y los centros.
2. Rescar los pernos de sombrerete laterales en los agujeros de las vírgenes.
3. Montar las vírgenes en la cimentación y fijar las viguetas extremas de acuerdo a las instrucciones de montaje.
4. Colocar los pernos de anclaje, las arandelas y las tuercas inferiores e chavetas en su posición y apretar las tuercas superiores.
5. Aplicar la cementación. Una vez que la cementación esté firme, apretar los pernos de cimentación siguiendo el procedimiento de enlechade.
6. Aceptar la bandeja del jugu en las vírgenes, y seguidamente colocar las tuberías auxiliares, sujetadores y demás accesorios.
7. Echavetar los pifiones en todos los mufones de las mazas de acuerdo con las instrucciones de montaje.
8. Colocar los raspadores Messchaerts en la maza cañera y los se-

partes en los cabezales fijos.

9. Limpiar las superficies inferiores del alojamiento del cojinete del redillo lateral, engrasarlas bien y seguidamente levantar aquél y colocarlos en el meline. Colocar el perno de extracción con cabeza en forma de T en el rebaje agujereado en la parte posterior de cada alojamiento de cojinete.
10. Colocar el tornillo y la tuerca de ajuste del cojinete de las mazas inferiores.

NOTA: Los tornillos y las tuercas de ajuste deberán engrasarse bien antes de proceder al montaje, ya que de otro modo podrá producirse erosión.

11. Colocar las mitades inferiores de los cojinetes de la maza superior en su posición en las mandíbulas superiores de las vírgenes usando el engranaje o piñón de levantamiento incluido.
12. Ajustar las mazas inferiores de acuerdo a los centros requeridos.
13. Colocar las abrazaderas de soporte para la guarda del piñón.
14. Sujetar los soportes de la plataforma de alimentación del bagaje en las vírgenes.
15. Colocar las mitades de los cojinetes superiores y posicionar el cojinete de presión de aceite del cojinete.
16. Posicionar los cabezotes hidráulicos y enchavetarlos en las vírgenes.
17. Montar el mecanismo rascador o peine superior de la maza mayor.
18. Montar el mecanismo rascador o peine bagacero.
19. Colocar la cuchilla central y sujetarlas firmemente en el puente

te de la cuchilla.

20. Colocar la excéntrica y el regulador exterior (templadores).
21. Conectar la tubería del sistema refrigerador por agua.
22. Conectar la tubería y la estación de lubricación.
23. Conectar la tubería de presión de aceite al acumulador hidráulico.
24. Afianzar la guarda del pistón en la virgen.

Una vez terminada la instalación, verificar y apretar todas las tuercas, especialmente los pernos de cimentación y del pedestal.

NOTA:

Los equipos siguientes son indispensables para el montaje de los molinos:

- Una regla recta de la longitud suficiente para alcanzar a través de las vírgenes del molino, diagonalmente desde el punto de alimentación hasta los asientos del cojinete del cilindro de salida.
- Un nivel de burbuja de 25 mm de largo mínimo (modelo de precisión).
- Cuerdas y plomadas de nivelación vertical. Cuerda de plástico con una resistencia a la ruptura equivalente a 56 libras.
- Una cinta de medir de acero de unos 30 m de largo (no podrán garantizarse resultados precisos si se emplean cintas de lino o de otros materiales).
- Una escuadra de acero de 600 mm de largo como mínimo.
- Juego de calibres de espesores (del tipo de cuchilla larga y carta)
- Un juego de calibres tipo muelle para el interior y el exterior.

5.10. PREPARACION DE MOLINOS PARA EL SERVICIO.- Antes de poner en marcha la unidad del tron de molinos, se inspeccionará los siguientes componentes:

1. SISTEMA HIDRAULICO.

Los cabezotes hidráulicos se envían como conjuntos (pistón y tapa de seguridad).

Los tapones deberán quitarse antes del llenado de fluido hidráulico y los cabezotes deberán ser inspeccionados interiormente para cerciorarse que no se ha introducido material nocivo alguno durante el transporte. Cuando se llenen los cabezotes es preciso purgar el aire. Se incluye con este fin un tapón de ventilación rosado en la tapa superior, el cual deberá desenroscarse cuando se efectúe el llenado. Tan pronto como el fluido hidráulico comienza a salir del agujero de respiración, rosar el tapón de ventilación dejándolo bien apretado.

2. REFRIGERACION DEL AGUA.

Los conductos del agua de refrigeración de los cojinetes inferiores como los superiores se deberá en lo posible hacer una inspección para que no haya obstrucción alguna al paso del agua. Será necesario, así pues, asegurar que se envíe una buena cantidad de agua a cada cojinete y se regulará la cantidad de agua mediante el grife incluido en la tubería de alimentación a cada cojinete, pero deberá tomarse la precaución de no reducir el caudal excesivamente, ya que la temperatura máxima del agua de refrigeración en el punto de salida no deberá exceder de los 52.5 °C. Los cojinetes no deberán ser expuestos a una presión excesiva del agua, la cual en ningún caso debe ser mayor a los 3.5 Kg/cm², la cual es la presión a que se prueban los conductos

de agua durante su fabricación. Todas las tuberías del agua deben ser lavadas antes de ser conectadas a los cojinetes.

Presión de agua disponible en el cojinete desde 1.0 a 3.0 Kg/cm²
(14.2 a 42.7 psig).

Cantidad aproximada de agua requerida: 18.0 Lts/min per cojinete superior (4 galones/min) y 13.6 Lts/min per cojinete lateral (3 galones per minute).

0:

63 Lts/min per cada molino (20 galones imperiales/min).

3. LUBRICACION.

Siempre que se use aceite o grasa como medio de lubricación, y -- cualquiera que sea el método empleado para alimentar el lubricante a los diversos cojinetes y superficies deslizantes, será indispensable que se limpien bien todas las tuberías, canales y ranuras antes de que cualquier cantidad de lubricante sea alimentada en las mismas, y de que sean llenadas antes de que el molino comience a funcionar. El llenado inicial puede durar varias horas.

Todas las tuberías y conductos de lubricación deberán lavarse cuidadosamente mediante aire comprimido, para asegurar que estén limpios en el interior, ya que de otro modo el óxido, las escamas o las rebabas podrían obstruir el caudal del lubricante, hasta producir con el tiempo desperfectos en las superficies lubricadas.

Para el llenado: desconectar cada tubería por turno en el punto de lubricación particular que ha de alimentar, y forzar el lubricante a

través hasta que rezume por el borde de la pieza dada que ha de ser lubricada. También deberá prestarse atención a las juntas por si existen fugas, las cuales deberán ocluirse inmediatamente.

Deberá efectuarse una verificación cuidadosa cuando se ponga en funcionamiento el molino, para asegurar que todos los lubricadores estén funcionando correctamente y que entreguen una cantidad adecuada de lubricante en cada punto. Se recomienda que durante el funcionamiento inicial del molino, se regulen los lubricadores de modo que suministren la cantidad máxima de lubricante hasta que los muñones hayan asentado apropiadamente. Una vez conseguido esto, los alimentadores individuales podrán ajustarse para suministrar la cantidad necesaria de lubricación en cada cojinete.

4. SUAVIZADO DE MARCHA.

Deberá ponerse en marcha el sistema de refrigeración por agua del molino y hacerse comprobaciones para asegurar que se descargue un caudal libre de agua refrigerante por cada tubería de salida del cojinete. Luego se hará girar inicialmente a velocidad lenta, durante cuyo período los raspadores de la maza superior y de salida deberán asentarse en sus mazas respectivas, con una presión hidráulica mínima de un 40 % sobre los pistones del cabezote hidráulico. También deberá aplicarse agua con manguera sobre los raspadores, para ir engranando gradualmente y sujetando mediante un tensor para su posición. Después, se agrega un 60 % de la carga hidráulica normal. Esta carga deberá ser aumentada de modo gradual hasta que se haya aplicado el valor de servicio completo. De ninguna manera deberá precipitarse este período de suavizado, ya que existe el peligro de recalentamiento de

los cojinetes con el subsiguiente peligro de que se produzcan desperfectos.

5.11. PROCEDIMIENTO PARA PONER EN MARCHA EL MOLINO.- El procedimiento para poner en marcha la planta trituradora puede variar dependiendo de factores tales como la disposición real de la instalación, el grado de interconexión, los sistemas de instrumentación y, naturalmente de las preferencias de índole personal.

Por todas estas razones, las verificaciones y el procedimiento relacionado a continuación serán únicamente indicadores.

1. Comprobar que todos los operarios encargados de las secciones de la planta de molida estén presentes en sus puntos de trabajo, y que se tengan disponibles herramientas y equipos apropiados, como:
 - Dos bombas manuales de lubricación/engrase de alta presión, para aplicar lubricante suplementario al molino y a los cojinetes.
 - Bombas de transferencia de barril de lubricante/grasa.
 - Pistolas de grasa y aceiteras.
 - Bidones de repuesto con lubricantes recomendados y aceite lubricante para el relleno de los depósitos de lubricación y de los sistemas hidráulicos.
 - Conjunto de herramientas manuales (martillos, llaves inglesas, y otras utinsilias).

2. Comprobar los niveles de aceite de lo siguiente y asegurar que todos tengan el nivel correcto de funcionamiento:
 - Depósitos y reguladores de la turbina del molino y la cuchilla.
 - Cajas de engranaje de reducción doble y de reducción final de la turbina del molino.

3. Abrir las válvulas de agua de enfriamiento a los refrigeradores del aceite por encima de las unidades, y comprobar que sea adecuado el caudal del agua.
4. Energizar las consolas locales para las turbinas de cuchillas cañeras, las turbinas del meline y panel de control poniendo los interruptores en la posición ON (conectado). Con esto se arrancarán las bombas auxiliares impulsadas por electricidad de las turbinas y también las cajas reductoras, después de lo cual el aceite circulará alrededor de los sistemas de lubricación y del aceite del relé. Este será indicado por las luces de los paneles, mientras que las lecturas de presión quedarán registradas en los manómetros del aceite del relé de la turbina, del lubricante de la turbina y del aceite lubricante de reducción doble. Cofirse de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
5. Asegurar que todas las derivaciones estén abiertas en los separadores de vapor, en los colectores de vapor y en la tubería de drenaje y luego calentar a través de la tubería de vapor de alta presión a las turbinas.
6. Abrir la válvula maestra al sistema del agua de refrigeración y regular el suministro adecuado de agua en cada cojinete.
7. Controlar el nivel del lubricante en los baños de aceite de los piñones.
8. Comprobar el nivel del lubricante en todos los depósitos de las unidades de bombeo de lubricante para los cojinetes, rellenando según convenga con la bomba de transferencia del barril aceite/grasa

9. Efectuar una inspección visual de la rampa de alimentación al molino # 1, el conductor intermedio y las bancadas de los molinos para asegurarse que no existen fragmentos de hierro o materias extrañas que pudieran pasar a través de los molinos o de los sistemas de juego.
10. Comprobar que el electroimán esté limpio y seco y que sea capaz de energizar el separador de fragmentos de hierro magnético.
11. Comprobar que se dispone en el esparcidero de imbibición una cantidad adecuada de agua de imbibición.
12. Comprobar que la carga hidráulica de todos los cilindros superiores esté regulada en la presión moderada. Si es necesario aumentar las presiones hidráulicas a todos los pistones hidráulicos, verificar que el depósito de fluido de la unidad hidráulica esté lleno hasta el nivel de funcionamiento con el aceite hidráulico correcto antes de poner en marcha la bomba.

Una vez concluidas las comprobaciones anteriores, pedrán iniciarse las operaciones siguientes:

13. Informar a todo el personal y departamentos pertinentes de la intención de comenzar el "procedimiento de puesta en marcha" antes de efectuar la molienda. Cerciorarse de que no haya personal alguno en los transportadores, los juegos de cuchillas, etc.
14. Cerciorarse de que todas las turbinas (juego de cuchillas y el molino) estén completamente calentadas de acuerdo con las instrucciones incluidas en el manual del fabricante.
15. Comprobar que la plataforma de alimentación del bagazo esté libre

16. Poner en marcha todas las turbinas y todos los demás equipos anteriores al triturado, es decir, mesas de alimentación, planta de lavado, etc.
17. Comenzar la operación preliminar de alimentación de caña, asegurando que estén llenas las mesas hasta el primer juego de cuchillas de caña. No pasar caña a través de las cuchillas hasta que se haya dado la señal final de comienzo del triturado.
18. Inspeccionar el último melino y comprobar que todo esté despejado antes de poner en marcha la última turbina del melino y mantener a una velocidad lenta.
19. Poner en marcha el conductor intermedio precedente.
20. Proseguir el procedimiento de puesta en marcha de todas las turbinas y conductores intermedios, desde el último melino hasta el 12 melino. Todo los melinos deberán mantenerse a una velocidad lenta sin la carga.
21. Comprobar que todo los indicadores de levantamiento de la masa superior estén en cero.
22. En seguida poner en marcha rápida todas las turbinas del melino y las cuchillas de caña, de acuerdo a la velocidad conveniente de la melianda.
23. Informar a la sala de calderas que se intenta comenzar el triturado inminentemente. Una vez correcta la presión del vapor, señalar a la sala de calderas, de elaboración y energía, y enviar la señal final del comienzo de la melianda.

24. Cuando los molinos se hayan normalizado con una alimentación uniforme de caña, se hará una verificación inicial de todas las temperaturas de los cojinetes, de las temperaturas y presiones del aceite lubricante, de las presiones del vapor, de las velocidades de los molinos, los levantamientos de los ejes de la maza superior, y de todas las demás lecturas importantes pertinentes del buen funcionamiento de la molienda. Todos estos detalles deberán anotarse en un libro de registro para este fin, y aquellas lecturas que sean anormales deberán ser subrayadas. Con esto se asegurará la continuidad de la información pasada de relevo a relevo, sirviendo de ayuda para la planificación de los trabajos de mantenimiento durante la próxima parada del molino o semanalmente.

Una vez en marcha la planta de molienda, se recomienda verificar cada hora lo siguiente:

- Juego de cuchillas: Comprobar si se producen ruidos o vibraciones anormales e inspeccionar los cojinetes.
- Molinos : Comprobar las temperaturas de los cojinetes de las mazas superior e inferiores. Aumentar o disminuir la lubricación según convenga. Inspeccionar los sistemas hidráulicos.

Cada cambio de turno, será preciso efectuar una inspección visual completa de cada elemento de la planta dentro de la zona de pretriturado y triturado, anotando todas las observaciones anormales en el libro de registro de relevos.

5.12. MANTENIMIENTO RECOMENDADO DEL MOLINO.- Deberán verificarse los puntos siguientes cada semana, o siempre que se detenga la producción de la planta por cualquier motivo.

1. Verificar los reglajes de alimentación y descarga del molino (aberturas de entrada y salida de las mazas) y ajustar según convenga.
2. Comprobar el apriete de todos los pernos del raspador.
3. Apretar todos los pernos de anclaje.
4. Comprobar el mecanismo tensor de la barra Messchaerts y efectuar el apriete correspondiente.
5. Comprobar que los raspadores Messchaerts limpien las ranuras hasta su completa profundidad.
6. Comprobar el apriete de todas las cadenas impulsoras.
7. Comprobar los niveles de aceite en las cajas de engranajes, baños de aceite, etc.
8. Comprobar las cadenas del conductor intermedio por si faltan pasadores hundidos.
9. Comprobar los pernos de fijación de las tablillas de acero de los conductores intermedios.
10. Verificar el dispositivo tensor para el accionamiento del conductor.
11. Verificar todos los cojinetes de bronce por si están desgastados.
12. Verificar el sistema hidráulico por si existen fugas.
13. Verificar que el agua fluya a través de los cojinetes; si el flu-

je no es como el especificado, inspeccionar los conductos de los cojinetes por si están obstruidos.

14. Comprobar que los indicadores de levantamiento de la maza superior estén en la posición cero cuando el meline está en estado de reposo.
15. Comprobar que los lubricadores de los cojinetes del meline distribuyan la cantidad correcta de lubricante en cada cojinete.
16. Limpiar los melines con una manguera de vapor cada 8 horas por lo menos.
17. Verificar los pifiones por si están desgastados y rellenar el canal de lubricación según convenga.
18. Limpiar y verificar los canales de imbibición, y si no están nivelados, volverles a nivelar.
19. Limpiar y verificar los celaderos de jugo.
20. Verificar los casquillos de la bomba del jugo.
21. Verificar las tuberías de jugo por si tienen fugas.
22. Comprobar todos los contactores del arranque eléctrico.
23. Verificar el huelgo entre la parte inferior del pistón hidráulico y la placa de presión, el cual no deberá exceder de 1 mm.
24. Engrasar las cajas de acoplamiento.
25. Limpiar la bandeja y los depósitos de jugo.
26. Verificar la barra de acoplamiento y el dado de acople por si no están nivelados, volverles a nivelar y engrasarlos.
27. Evitar en lo posible el pase de piedras y hierros a la batería.

5.12.1. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO FUNCIONAL.- Los engranajes deberán ser totalmente inspeccionados cada tres a seis meses, e bien entre cosechas, la alineación deberá comprobarse y verificarse las chavetas por si están aflojadas. Siempre que se hayan colocado correctamente las chavetas, no existe motivo para sospechar que se haya aflojado. A menos que una o la otra, o ambas, se hayan aflojado no existe prácticamente ningún peligro de que se produzca una desalineación, pero si este ocurre por cualquier razón, será preciso repetir el procedimiento completo de montaje para restablecer la alineación correcta.

Durante los primeros meses, las chavetas deberán ser comprobadas cada semana por si se han aflojado, así como el resaca del lubricante después del engranaje sobre los costados de los dientes para averiguar si están equilibrados los cojinetes entre los costados.

EXPANSION TERMICA.- Cuando la temperatura de funcionamiento de los engranajes excede la temperatura normal en cantidad apreciable, será necesario dejar compensación para la expansión y para regular los engranajes con huelgo incrementado. La cantidad que habrá de dejarse para compensar la expansión térmica se muestra en la tabla "C", y el huelgo total para todo tipo de engranajes que funcionen bajo estas condiciones, se obtendrá añadiendo la cifra apropiada tomada de esta tabla de acuerdo con la compensación normal de huelgo permitida según se indica en la tabla "B".

Los engranajes o pifiones deberán regularse con esta cifra, y cuando los melines se ponen en marcha hasta que alcance una temperatura de funcionamiento establecida, deberá pararse el accionamiento y medirse

el huelgo inmediatamente. La medición obtenida deberá ceñirse exactamente al huelgo normal para ofrecer unas condiciones de marcha correctas.

TABLA "B"

PASO CIRCULAR (mm)	PASO DIAMETRICO (mm)	HUELGO A TEMPERATURA NORMAL (mm)
159.50	12.70	0.97 - 1.27
106.40	19.05	0.86 - 1.12
79.80	25.40	0.81 - 1.07
63.80	31.75	0.71 - 0.91
53.19	38.10	0.61 - 0.77
39.90	50.80	0.56 - 0.74
31.93	63.50	0.48 - 0.64

TABLA "C"

COMPENSACION ADICIONAL DE HUELGO PARA LA EXPANSION A TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO

ASCENSO DE TEMPERATURA (°C)	DISTANCIA ENTRE CENTROS (mm)					
	1270	1778	2285	2794	3302	3810
32	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18
38	0.10	0.15	0.20	0.25	0.31	0.33
43	0.18	0.23	0.31	0.41	0.46	0.51
49	0.23	0.31	0.41	0.48	0.58	0.66
54	0.25	0.38	0.51	0.61	0.71	0.84
60	0.33	0.46	0.61	0.74	0.89	1.02
66	0.41	0.53	0.71	0.86	1.02	1.17
71	0.46	0.61	0.81	0.97	1.14	1.32
77	0.53	0.71	0.91	1.09	1.32	1.53
82	0.56	0.78	0.99	1.22	1.45	1.68

NOTA: Las tablas "B" y "C" habrán de usarse como guía solamente.

5.12.2. LUBRICANTES RECOMENDADOS.

Pifiones del meline.

Compuesto Shell Cardium "C" (se acostumbra generalmente a poner este lubricante encima de agua).

O bien:

Shell Macoma RX

Mobil Mobiltac 4

Fluide Esse Surett 4K

BP Energol BL 450-2

Pistón hidráulico del meline.

Dependiendo del sistema de lubricación.

Si es a base de grasa, usar:

Shell Alvania R3 ó Mobilux 3

Esse Unirex 3

BP Energrease LS3

Si es a base de aceite, usar:

Shell Macoma R320 (Esse Spartan EP 320)

Mobil Mobilgear 632

BP Energol EP320

Placas de desgaste del meline.

Shell Macoma R320 ó Esse Spartan EP320

Mobil Mobilgear 632

BP Energol GR EP320

Contraejes y dados de acople.

Compuesto Shell Cardium "D" - aplicarlo caliente

Mobil Mobiltac 4 ó Esse Surett N26K

BP Emergrease GG

Engranajes de reducción.

Los fabricantes de engranajes han recomendado los lubricantes siguientes para instalaciones típicas:

Shell Macema R320

Mobil Mobilgear 632

Esse Spartan EP320

BP Energol GR EP320

Shell Macema R680

Mobil Mobilgear 636

Esse Spartan EP680

Cojinetes de las masas del meline.

Grasa Shell S7222

Debido a requerimiento de tipo individual, podrán acoplarse otras formas de lubricación, pero debe subrayarse que cualquier otro lubricante usado que no sea el anterior deberá aprobarse de acuerdo con su utilización en el servicio y su viscosidad adecuada.

C A P I T U L O VI

AJUSTE O SETTING DE LOS MOLINOS

6.0. CONSIDERACIONES BASICAS GENERALES.- En el presente trabajo se -- utilizará el vocable " Setting " , que significa el ajuste inte gral del molino, o sea, el ajuste de las mazas y el de la cuchilla -- central.

En realidad, en todo molino hay que realizar dos ajustes básicamente, y ellas son:

- 1) El ajuste de las aberturas de entrada y de salida de las mazas.
- 2) El ajuste de la cuchilla central.

Conforme a lo dicho anteriormente es por lo que muchos autores al ha blar de setting de un molino, se están refiriendo a tales aberturas; es decir se ha llegado a identificar al concepto de abertura.

Es por ello que al hablar de setting de un molino nos estamos refi riendo a las aberturas de entrada y de salida del mismo. Así, es fre cuente que digamos: "el setting a la entrada es tanto, y a la salida más cuanto".

Ahora bien, tanto a la entrada como a la salida hay que considerar -- dos aberturas, o sea, la que corresponde al caso en que la maza supe rior está flotando por hallarse el molino trabajando, y la que corres ponde al caso en que está en reposo, o sea, cuando el molino está -- inactivo. En primer caso, lo apropiado es hablar de abertura de tra bajo, a la que también podríamos denominarle "abertura viva", mica -- tras que en el segundo caso cuando la maza está descansando en sus --

chumaceras inferiores, entonces se le puede designar por abertura en reposo, o también "abertura muerta".

En la práctica y durante el período de reparaciones, que es cuando -- se arman los molinos; se trabaja como es natural con las aberturas -- que corresponden al molino en estado inactivo. Por lo tanto, y con -- arreglo a la costumbre establecida se le entrega una nota por escrito al operador de máquinas, para que proceda a fijar mediante el empleo del gramil las distintas aberturas muertas. Como se ve, hay que trabajar con este tipo de abertura, y por esta razón que nosotros y le -- mismo hacen otros, reservamos la palabra setting para la abertura que corresponde a la maza superior en reposo. Del mismo modo se procede para las aberturas de trabajo.

Es muy importante saber calcular los settings de los distintos molinos de una batería porque nos da una idea bastante aproximada de cuáles deben ser las verdaderas aberturas entre las mazas.

En consecuencia, el ajuste o setting es una operación muy delicada e indispensable para el buen funcionamiento del molino, sin atascamientos, logrando una extracción satisfactoria. Por ello consiste en determinar las posiciones más favorables entre las 3 mazas y de la cuchilla central, logrando una buena alimentación del molino.

La maza de entrada es un órgano de alimentación, por tal razón su abertura será más grande que la abertura de la maza de salida; siendo este último un órgano de presión. Por tal razón es necesario añadir, que no se deberá fijar aberturas muy pequeñas, a la entrada ni a la salida, porque produce atascamiento en los molinos; por igual, ni aberturas grandes a la entrada y salida, porque la compresión del bagazo

se efectua con una presión deficiente, llegando entonces a la salida del cilindro , bagaze demasiado húmedo, peligrando por ende el funcionamiento del molino (se atasca).

En realidad el ajuste es una tarea compleja, ya que no tiene una solución definitiva única; siendo por tanto el ajuste en realidad un arte basado en comprobaciones empíricas y de la experiencia de años de trabajo de una planta de moler.

La operación de moler caña con gran eficiencia es muy complicado, debido a que depende de muchos factores, a la vez que algunos de éstos sufren frecuentes e intensas variaciones dentro de una misma zafra y no pueden ser fácilmente controlados. Es decir, lo más conveniente es combinar los cálculos teóricos con la experiencia propia obtenida dentro de la planta de moler y mediante pruebas bajo condiciones distintas que nos permitan llegar a aquellos resultados que reflejen que el molino en cuestión funciona a elevada eficiencia. En el propio molino, durante su funcionamiento, el que nos dirá si los settings escogidos son apropiados ó no.

Los distintos factores básicos en la determinación de los settings de los molinos son los siguientes:

1) Cantidad de caña que se quiere moler. Es natural que a mayor cantidad de caña molida por hora, mayores tendrán que ser las aberturas entre las mazas. Se puede aumentar o disminuir la velocidad de las máquinas de acuerdo a la demanda del tonelaje de caña.

2) Porcentaje de fibra en caña. Es el factor básico en la determinación de los settings de un molino, ya que éstos lo que realmente mue

len es fibra. A mayor contenido de fibra en la caña, mayores tendrán. que ser las aberturas entre las mazas, en el supuesto de que todo los demás factores permanezcan constantes. Las aberturas cambiarán también en consonancia de la fluctuación de la fibra en caña. Esto se consigue en la práctica, ya que las aberturas se ajustan a esos requerimientos, gracias a la libertad de flotación de la maza superior.

La variación del por ciento de fibra en caña, al moler diferentes variedades, se observa fácilmente en el movimiento continuo de las placas de los acumuladores hidráulicos, lo que es un índice del autoajuste de los settings de las mazas del molino en cuestión.

3) Composición cuantitativa del bagazo a la salida de cada molino.

Por razones de simplicidad en lo sucesivo, vamos a llamar bagazo a la caña molida desde las primeras unidades de preparación previa de caña con su correspondiente extracción de jugo. A medida que avanza ese colchón en la serie de molinos, va progresando el estado de desmenuzamiento y compresión y va experimentando variación cuantitativamente la composición del bagazo. Pues bien, esa composición del bagazo a la salida de cada molino es un factor que influye en el cálculo de los settings del mismo.

Para fines prácticos, el bagazo realmente está compuesta por 2 partes principales, a saber: una parte sólida representada por la fibra seca y una parte líquida representada por el jugo presente conjuntamente con el agua de dilución.

La densidad de la celulosa es de 1.55 gr/cm^3 . La de la fibra debe ser la misma.

La densidad de la fibra comprimida, está dada por la fórmula completa de PIDDUCK:

$$DF = 1.512 + 220 \times 10^{-6} p \text{ gr/cm}^3.$$

Siendo:

p = presión a la que se sujeta la fibra, en Kg/cm^2 .

Por lo tanto:

$$p = 1.033, \text{ entonces: } DF = 1.512 \text{ gr/cm}^3.$$

$$p = 100 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces:}$$

$$DF = 1.535 \text{ gr/cm}^3.$$

$$p = 700 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces:}$$

$$DF = 1.66 \text{ gr/cm}^3.$$

$$p = 1000 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces:}$$

$$DF = 1.732 \text{ gr/cm}^3.$$

La densidad del jugo bajo presión está dada por la fórmula siguiente:

$$DJ = DJ' (1 + 380 \times 10^{-6} p)$$

Siendo:

DJ = densidad del jugo, en gr/cm^3

p = presión a la cual está sometida, en Kg/cm^2 .

DJ' = densidad del jugo a la presión atmosférica.

Por lo tanto:

$$p = 1.013 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces: } DJ = 1.017 \text{ gr/cm}^3.$$

$$p = 22.00 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces: } DJ = 1.097 \text{ gr/cm}^3.$$

$$p = 25.00 \text{ Kg/cm}^2, \text{ entonces: } DJ = 1.109 \text{ gr/cm}^3.$$

Es suficiente para efectos de cálculo tomar: $DJ = 1.097 \text{ gr/cm}^3$.

Por lo tanto, en 100 Kg de bagazo a la salida de cada molino habrá F Kg. de fibra seca, y H Kg. de líquido; siendo F y H expresados en %, contenidas en el bagazo (H/F).

Luego, la densidad del bagazo comprimido se puede calcular por la fórmula siguiente:

$$d = \frac{1}{\text{volumen específico}} = \frac{1}{\frac{F}{J} + \frac{1-F}{DJ}} \text{ gr/cm}^3$$

Siendo:

F = fibra % de bagazo

DJ = densidad del jugo, a una presión p.

d = densidad del bagazo

Ahora bien, sabemos que la fibra es un material compresible, es decir goza de la propiedad de sufrir variaciones de volumen cuando se somete a distintas presiones, y por consiguiente su peso específico está sujeto a tales fluctuaciones. Pero esta propiedad tiene su límite, y llega un momento en que apenas se manifiesta. Son clásicas las experiencias que realizó Neél Deerr sobre la compresibilidad del bagazo, encontrando que al comprimirlo se llegaba a un punto a partir del cual se lograba una reducción muy pequeña del volumen con un aumento de la presión. En otras palabras, la aplicación de presión en el molino sobre el colchón de bagazo, reducirá su volumen hasta un punto a partir del cual el bagazo actuará como un cuerpo rígido, y será -- prácticamente imposible comprimirlo más. Naturalmente que este punto es difícil de determinar y cambiará con la variedad de la caña y su grado de preparación.

En la práctica es bastante difícil determinar el peso específico de

la fibra seca del bagazo a la salida de cada molino, lo que exige repetidos y cuidadosos experimentos, y lo que se hace es asumir ciertos valores que dependen naturalmente del % de fibra que contiene ese bagazo.

Sin embargo, no existe tanta diferencia en el peso específico del jugo que acompaña a la fibra seca para entre ambos integrar el bagazo; dicho peso específico es un poco mayor en el jugo retenido en el bagazo a la salida de la desmenuzadora y de los primeros molinos, y lo-- que se explica por el mayor brix. Pero generalmente está comprendido la densidad del jugo entre 0.993 y 1.097 gr/cm³. Se puede tomar como promedio aproximadamente: 1.057 gr/cm³.

4) La velocidad lineal de las mazas del molino en cuestión. Es evi-- dente que la cantidad de fibra en peso que pasa por cada molino es -- la misma para todo ellos en cualquier unidad de tiempo. Sin embargo, y debido a los distintos grados de compresión el trabajo del molino, considerado, ocurre que los volúmenes son diferentes. Entonces hay -- que darle las aberturas más convenientes entre las mazas para que permitan pasar el volumen correspondiente a la salida de cada molino.

Sin embargo, aunque en la práctica se toma frecuentemente el diáme -- tro exterior de la maza para calcular la velocidad lineal que nos -- permita detreminar los settings del molino considerado, esto no es -- lo correcto, pues que en realidad el volumen en tránsito que hay que calcular corresponde a un área cuyo centro de gravedad generalmente, no coincide con el extremo del diámetro de la maza superior. Es de -- cir, hay que considerar la existencia de un tambor imaginario que gira y que tiene un diámetro medio "Dm" distinto al verdadero de la maza

superior.

5) Naturaleza del material de que están hechas las mazas y la cuchilla. La calidad del material de que están hechas las mazas y la cuchilla central es un factor que, aunque no aparece en ninguna de las fórmulas para calcular los settings, influye en los mismos.

En las mazas conviene que el hierro fundido del tambor sea blando , mientras que el de la cuchilla conviene que sea duro o semiduro. De esta manera en aquéllas se forma grano fácilmente y mejora notablemente su acción de agarre.

El molino funcionará normalmente sin que haya necesidad de tocar los settings pre-establecidos conforme a los cálculos y a la experiencia.

6) Drenaje del jugo extraído. Uno de los detalles que hay que tener en cuenta cuando se traza y ajusta la cuchilla, es relativo a la de la abertura de drenaje que se le deja por la parte posterior para poder dar salida al jugo extraído durante la compresión entre la maza superior y la bagacera.

El molino que no tiene buen drenaje no puede trabajar bien; tal es así que el rayado Messohaert se hizo una necesidad en la maza cañera.

Cuando no existe buen drenaje por la parte posterior de la cuchilla, el molino tiene tendencia a escupir ; que a menudo se proyectan entre la maza superior y la bagacera. O también esta anomalía se produce cuando existe una relación muy grande entre la abertura de entrada y la salida, que ocasiona que la maza cañera apenas extraiga jugo, en cuyo caso se recarga demasiado el trabajo de la maza bagacera. Cuando por cualquier motivo el drenaje del molino es insuficiente, a ve-

ces no queda más remedio para aliviar el mal, que alterar los settings fijados de acuerdo con las circunstancias concurrentes. Por eso, decimos que el drenaje es un factor que influye en los settings de los molinos.

7) Dispositivos para mejorar la alimentación a la entrada del molino.

Este es uno de los factores que también influye en los settings de los molinos, y para ello se utilizan alimentadores forzados, para uniformizar el colchón de bagazo, empujando aquél hacia la entrada del molino, evitando probables resbalamientos.

9) Otros factores. Existen muchos factores que se pueden presentar en la práctica, tales como condiciones mecánicas del molino, la presencia de mucho bagacillo y la mala distribución del mismo delante de un molino, etc.

Entre las condiciones mecánicas podemos citar las siguientes:

a) Estado en que se encuentran las mazas, pues si éstas presentan muchos dientes rotos o averiados, y no es posible repararlos por razones de economía o de tiempo, entonces hay que tenerlo en cuenta a la hora de escoger los settings.

b) La presencia de estrías transversales o helicoidales en las mazas inferiores, especialmente en las cañeras de acuerdo con el criterio de mejorar la alimentación, y otras veces en las bagaceras por motivo del sistema de intercambio de mazas de un lugar a otro y que a veces obliga a usar como bagaceras aquellas mazas que anteriormente han trabajado como cañeras. De todos es sabido que las estrías longitudinales son un mal deseable, pues su presencia reduce la efectividad de la acción de estrujamiento del molino. De aquí que haya que--

tener en cuenta dichas estrías cuando se hallan en las mazas inferiores, a la hora de establecer los settings.

c) Cuando las mazas son pequeñas de diámetro y no queda más remedio que volverlas a usar, ocurre con frecuencia que no pueden situarse definitivamente en las posiciones que dictan los settings establecidos, ya que otras condiciones mecánicas como el tamaño de las coronas grueso y características mecánicas propias de las chumaceras, ciertos detalles constructivos del soporte de la cuchilla, lo impiden por completo, y entonces tenemos que conformarnos en modificar los settings lo menos posible. Otras veces el tamaño de las pestañas de la maza superior, por resultar pequeñas impiden que la cuchilla ocupe su posición correcta y obliga a instalarla más alta de lo debido, lo que pudiera reflejarse después en los settings del molino.

6.1. SETTING DE LAS MAZAS DE ENTRADA Y SALIDA EN LOS MOLINOS.- El ajuste de las aberturas de entrada y de salida, se evaluará teniendo en cuenta 2 consideraciones siguientes:

1. Cuando el molino está en operación, o en estado de trabajo. Es decir las aberturas de entrada y salida en estado de trabajo.
2. Cuando el molino está inactivo. Es decir las aberturas de entrada y salida en estado de reposo.

Evaluaremos las aberturas respectivas tanto de la maza cañera como la bagacera mediante el razonamiento del método logarítmico de Java, modificado por BEHNE; y otro por el método analítico en sí. En consecuencia, los resultados obtenidos por éstos, nos conducirán a valores no tan alejados de la realidad; y en un proyecto es suficiente una buena aproximación.

6.1.1. CALCULO DE LOS SETTINGS DEL MOLINO.

Composición de la batería : 5 Molinos , de 1016 x 1981 mm. c/u. Con
2 juegos de cuchillas.

Número de mazas : N = 15
% fibra en caña : f = 16
Velocidad de rotación de
las mazas : n = 6.6 rpm.
Capacidad de Molienda : C = 210 T.C.H.
Longitud de las mazas : L = 1.981 m.
Diámetro de las mazas : D = 1.016 m.

Los settings, calcularemos aplicando el método logarítmico de Java
modificado, y por el método analítico.

A) METODO LOGARITMICO.

i. CALCULO DE LA ABERTURA TRASERA TRABAJANDO:

Aplicando la fórmula (66):

$$K^{5.5} = \frac{38L(D)^{0.5}}{P.H.R.} \left(\frac{q}{10F} \right)^6$$

Donde: P.H.R. = P.H.T. = 452 tons. = 452,000 Kg. , (del lado de sali
da)

Cálculo de la carga fibrosa q:

$$q = \frac{C \times f}{60 \times 3.1416 \times D \times n \times L} = \frac{210 \times 10^3 \times 0.16}{60 \times 3.1416 \times 1.016 \times 6.6 \times 1.981}$$

$$q = 13.42 \text{ Kg/m}^2$$

TABLA 17. Variación del % fibra de bagazo "F", a lo largo de la batería.

BATERIA	DESM.	1Mol.	2Mol.	3Mol.	4Mol.	5Mol.
11 mazas :	25	37	45	50	-	-
14 mazas :	25	37	42	47	51	-
17 mazas :	25	37	41	46	49	52
12 mazas :	30	40	46	51	-	-
15 mazas :	30	40	45	49	52	- 1/
18 mazas :	30	40	45	48	51	52

1/.- dato, que se utilizará en el presente cálculo, el valor de "F".

Cálculo de la relación $q/10F$, para cada molino:

La variación de fibra de bagazo F: 0.30,0.40,0.45,0.49,0.52, ver la Tabla 17.

Entonces:

$$\text{1er. Molino: } \frac{q}{10F} = \frac{13.42}{10 \times 0.30} = 4.473$$

$$\text{2do. Molino: } \frac{q}{10F} = \frac{13.42}{10 \times 0.40} = 3.355$$

y, así sucesivamente se calcula los demás valores:

$$\text{3er. Molino: } 2.982$$

$$\text{4to. Molino: } 2.738$$

$$\text{5to. Molino: } 2.580$$

Cálculo de la constante del molino $38L(D)^{0.5}$:

$$38L(D)^{0.5} = 38 \times 1.981 \times (1.016)^{0.5} = 75.877834$$

Para L, y D en cm., la constante, $38L(D)^{0.5}$ es: 75877.834

Reemplazando valores respectivos en la fórmula base, tenemos:

$$K^{5.5} = \frac{75877.834}{452 \times 10^3} (q/10F)^6$$

$$K^{5.5} = 0.1678(q/10F)^6 \quad (I)$$

Reemplazando, los valores de la relación $q/10F$, en (I), calculamos la abertura "K" de cada molino ; del siguiente modo:

$$\begin{aligned} \text{Para el primer molino: } K^{5.5} &= 0.1678 \times (4.473)^6 \\ &= 1344 \end{aligned}$$

Tomando logaritmos a ambos miembros tenemos:

$$\ln(K^{5.5}) = \ln(1344) = 7.2034$$

$$\ln(K) = \frac{7.2034}{5.5}$$

$$\ln(K) = 1.3097$$

Levantando el antilogaritmo:

$$K = e^{1.3097} = 3.70 \text{ cm.}$$

$$K = 37.0 \text{ mm.}$$

Para el segundo molino:

$$K^{5.5} = 0.1678 \times (3.355)^6 = 239.30$$

Tomando logaritmos nuevamente a ambos miembros tenemos:

$$\ln(K^{5.5}) = \ln(239.30) = 5.477$$

Levantando el antilogaritmo: $K = e^{0.9958} = 2.707 \text{ cm} = 27.07 \text{ mm.}$

Del mismo modo se calcula los demás settings de los molinos sub-siguientes:

Para el 3er. molino : $K = 2.38 \text{ cm} = 23.8 \text{ mm}$.

Para el 4to. molino : $K = 2.17 \text{ cm} = 21.7 \text{ mm}$.

Para el 5to. molino : $K = 2.03 \text{ cm} = 20.3 \text{ mm}$.

ii. CALCULO DE LA ABERTURA TRASERA EN REPOSO:

TABLA 18. Coeficiente de seguridad " t ": Relación entre la abertura trasera en reposo y abertura trasera media trabajando.

Desmenuzadora.	: t = 0.7
1er. Molino desmenuzadora, o 1er. molino.	: t = 0.6
Molinos intermedios.	: t = 0.5
Ultimo molino.	: t = 0.4

Tomando el coeficiente "t" de la tabla adjunta, calculamos las aberturas respectivas en estado de reposo, de cada uno de los molinos siguientes:

1er. Molino : $K = 37.0 \times 0.6 = 22.20 \text{ mm}$.

2do. Molino : $K = 27.07 \times .5 = 13.54 \text{ mm}$.

3er. Molino : $K = 23.8 \times 0.5 = 12.00 \text{ mm}$.

4to. Molino : $K = 21.7 \times 0.5 = 10.85 \text{ mm}$.

5to. Molino : $K = 20.3 \times 0.4 = 8.12 \text{ mm}$.

iii. CALCULO DE LA ABERTURA DELANTERA TRABAJANDO:

Tomando el coeficiente de seguridad "m" de la Tabla 19, calculamos la abertura delantera en estado de trabajo, de cada uno de los molinos siguientes:

TABLA 19. Coeficiente de seguridad "m": Relación entre la abertura delantera trabajando y la abertura trasera en trabajo.

1er. Molino desmenuzador.	: m = 2.5
1er. Molino.	: m = 2.0
Molinos intermedios.	: m = 2.0
Ultimo Molino.	: m = 2.0

$$1er. Molino : K = 37.00 \times 2.0 = 74.0 \text{ mm.}$$

$$2do. Molino : K = 27.07 \times 2.0 = 54.14 \text{ mm.}$$

$$3er. Molino : K = 23.80 \times 2.0 = 47.60 \text{ mm.}$$

$$4to. Molino : K = 21.70 \times 2.0 = 43.40 \text{ mm.}$$

$$5to. Molino : K = 20.30 \times 2.0 = 40.60 \text{ mm.}$$

iv. CALCULO DE LA ABERTURA DELANTERA EN REPOSO:

$$1er. Molino : K = 22.20 + 74.0 - 37.0 = 59.20 \text{ mm.}$$

$$2do. Molino : K = 13.54 + 54.14 - 27.07 = 40.61 \text{ mm.}$$

$$3er. Molino : K = 12.00 + 47.60 - 23.80 = 35.80 \text{ mm.}$$

$$4to. Molino : K = 10.85 + 43.40 - 21.70 = 32.55 \text{ mm.}$$

$$5to. Molino : K = 8.12 + 40.60 - 20.30 = 28.42 \text{ mm.}$$

TABLA 20. Ajuste de Molinos dado por BEHENE (Método de Java modif.)

q = gr/dm ² (para molino estándar: 762 x 1524 mm.)			
BATERIA	3 Molinos	4 Molinos	5 Molinos
1er. Molino	112	117	102
2do. Molino	107	122	137
3er. Molino	102	132	112
4to. Molino	-	122	127
5to. Molino	-	-	97

d = densidad de fibra en bagazo, de abertura trasera			
1er. Molino	450	384	336
2do. Molino	512	464	450
3er. Molino	800	545	480
4to. Molino	-	672	496
5to. Molino	-	-	672

d = gr/dm³.

B) METODO ANALITICO.

Para determinar las aberturas de entrada y salida en un molino, por este método es necesario conocer ciertos parámetros como: La densidad verdadera de la fibra seca comprimida, la densidad del jugo, etc. y para efectos de cálculo, nos remitiremos a la referencia del acápite anterior, que ya se ha desarrollado.

Brix medio del jugo primario = 20 , imbibición compuesta: $\lambda = 2$ (datos del laboratorio-Paramonga). Para este brix medio del jugo prima-

rio, coorresponde una densidad de 1.084. No debe estarse muy lejos -- de la realidad al suponer que la densidad del jugo bajo presión, a -- la salida de un molino, se obtiene multiplicando su densidad a la presión atmosférica por 1.01.

i) CALCULO DE LA ABERTURA TRASERA TRABAJANDO.

$$K = \frac{B}{188.4 \times L \times D \times n \times d} \quad (78)$$

Donde:

B = peso total del bagazo, en Kg.

b = peso del bagazo % caña

L = longitud de la maza, en dm.

D = diámetro de la maza, en dm.

d = densidad del bagazo comprimido = Kg/dm³.

n = velocidad de rotación de las mazas, en rpm.

K = abertura del molino, en dm.

Cálculo de la densidad del bagazo "d", para cada molino:

$$d = \frac{1}{\frac{F}{DF} + \frac{1-F}{DJ}} \quad (A)$$

DF = densidad de fibra seca comprimida (según PIDDUCK) = 1.6 gr/cm³.

DJ = densidad del jugo = 1.01 x 1.084 gr/cm³. = 1.095 gr/cm³.

F = variación del % fibra en bagazo (Tabla 17.)

Reemplazando valores de DF, DJ, y F en la fórmula (A), hallamos la densidad del bagazo para cada molino; del siguiente modo:

$$\text{1er. molino : } d = \frac{1}{\frac{0.30}{1.60} + \frac{1 - 0.30}{1.095}} = 1.2095 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{2do. molino : } d = \frac{1}{\frac{0.40}{1.60} + \frac{1 - 0.40}{1.095}} = 1.2532 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{3er. molino : } d = \frac{1}{\frac{0.45}{1.60} + \frac{1 - 0.45}{1.095}} = 1.2762 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{4to. molino : } d = \frac{1}{\frac{0.49}{1.60} + \frac{1 - 0.49}{1.095}} = 1.2953 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{5to. molino : } d = \frac{1}{\frac{0.52}{1.60} + \frac{1 - 0.52}{1.095}} = 1.3100 \text{ Kg/dm}^3$$

Cálculo del peso % bagazo en caña "b", para cada molino:

$$\text{1er. molino : } b = \frac{f}{F} = \frac{16}{30} = 0.533 = 53.3 \%$$

$$\text{2do. molino : } b = \frac{f}{F} = \frac{16}{40} = 0.400 = 40.0 \%$$

$$\text{3er. molino : } b = 0.3555 = 35.55 \%$$

$$\text{4to. molino : } b = 0.3265 = 32.65 \%$$

$$\text{5to. molino : } b = 0.3077 = 30.77 \%$$

Cálculo del peso total del bagazo "B", para cada molino:

$$1er. \text{ molino : } B = C \times b = 210 \times 10^3(0.533) = 111,930 \text{ Kg.}$$

$$2do. \text{ molino : } B = 210,000 \times 0.40 = 84,000 \text{ Kg.}$$

$$3er. \text{ molino : } B = 210,000 \times 0.3555 = 74,655 \text{ Kg.}$$

$$4to. \text{ molino : } B = 210,000 \times 0.3265 = 68,565 \text{ Kg.}$$

$$5to. \text{ molino : } B = 210,000 \times 0.3077 = 64,617 \text{ Kg.}$$

Reemplazando valores hallados, en la fórmula (78), calculamos las aberturas respectivas para cada molino siguientes:

$$\text{Primer Molino: } K = \frac{111,930}{188.4 \times 19.81 \times 10.16 \times 6.6 \times 1.2095}$$

$$K = 0.3697 \text{ dm} = 37 \text{ mm.}$$

$$\text{Segundo Molino: } K = \frac{84,000}{188.4 \times 19.81 \times 10.16 \times 6.6(1.2532)}$$

$$K = 0.2678 \text{ dm} = 26.78 \text{ mm.} = 26.80 \text{ mm.}$$

Análogamente:

$$\text{Tercer Molino : } K = 0.2337 \text{ dm} = 23.40 \text{ mm.}$$

$$\text{Cuarto Molino : } K = 0.2115 \text{ dm} = 21.15 \text{ mm.}$$

$$\text{Quinto Molino : } K = 0.1971 \text{ dm} = 19.71 \text{ mm.}$$

Estos resultados son ligeramente diferentes a los que se obtienen por cálculos logarítmicos; por las siguientes razones:

- Ciertos elementos utilizados no son exactamente los mismos (la densidad de fibra en bagazo en un caso; brix del jugo en el otro).

- A la incertidumbre de ciertos elementos, en particular las densidades del jugo y de la fibra seca realmente comprimida.

De esta manera es posible que la experiencia de Noël Deerr conduzca a compresiones más pequeñas o más grandes que las que se obtienen en la realidad en los molinos.

De todas maneras la aproximación obtenida es suficiente para las necesidades prácticas.

Las aberturas en estado de reposo, tanto a la salida como a la de la entrada, se calculan manteniendo siempre los mismos coeficientes del primer cálculo (método logarítmico); es decir utilizando la tabla 18 y 19.

ii) CALCULO DE LA ABERTURA TRASERA EN REPOSO.

1er. Molino: $K = 37 \times 0.6 = 22.20 \text{ mm.}$

2do. Molino: $K = 26.80 \times 0.5 = 13.40 \text{ mm.}$

3er. Molino: $K = 23.40 \times 0.5 = 11.70 \text{ mm.}$

4to. Molino: $K = 21.15 \times 0.5 = 10.57 \text{ mm.}$

5to. Molino: $K = 19.71 \times 0.4 = 8.00 \text{ mm.}$

iii) CALCULO DE LA ABERTURA DELANTERA TRABAJANDO.

1er. Molino: $K = 37.00 \times 2 = 74.00 \text{ mm.}$

2do. Molino: $K = 26.80 \times 2 = 53.60 \text{ mm.}$

3er. Molino: $K = 23.40 \times 2 = 46.80 \text{ mm.}$

4to. Molino: $K = 21.15 \times 2 = 42.30 \text{ mm.}$

5to. Molino: $K = 19.71 \times 2 = 39.42 \text{ mm.}$

Análogamente, se obtiene la abertura a la entrada en reposo:

$$1er. M. : K = 22.20 + 74.00 - 37.00 = 59.30 \text{ mm.}$$

$$2do. M. : K = 13.40 + 53.60 - 26.80 = 40.20 \text{ mm.}$$

$$3er. M. : K = 11.70 + 46.80 - 23.40 = 35.10 \text{ mm.}$$

$$4to. M. : K = 10.57 + 42.30 - 21.15 = 31.72 \text{ mm.}$$

$$5to. M. : K = 8.00 + 39.42 - 19.71 = 27.71 \text{ mm.}$$

Las aberturas traseras trabajando dependen en pequeña parte de la presión hidráulica y en gran parte de la carga fibrosa.

Para las presiones hidráulicas empleadas comúnmente se relacionan las aberturas traseras (K/q) con la carga fibra, y se obtendrán valores--valederos para molinos de cualquier dimensión, suficientemente aproximados para efectos de cálculo, a diferencia de los ya calculados , cuando no se conocen datos precisos. Para ello adjuntamos la siguiente relación (K/q), para baterías de 11 a 15 mazas.

TABLA 21. Relación K/q Entre la Abertura trasera Trabajando y la Carga Fibrosa

	11 Mazas	12 Mazas	14 Mazas	15 Mazas 1/
Desmenuzador o Molino Desmenuzador	: 2.9 mm	2.3 mm	2.9 mm	2.3 mm
1er. Molino	: 2.1 mm	2.0 mm	2.1 mm	2.0 mm
2do. Molino	: 1.7 mm	1.6 mm	1.8 mm	1.6 mm
3er. Molino	: 1.5 mm	1.5 mm	1.6 mm	1.5 mm
4to. Molino	: -	-	1.5 mm	1.5 mm

1/. valor correspondiente a la batería de 15 mazas.

Utilizando esta tabla adjunta, se pueden hallar, la abertura trasera trabajando, y la abertura en reposo igual que las anteriores. Si, "q" es igual a 13.42 kg/m^3 , entonces se tendrá: 31, 27, 21.5, 20 y 20 (1/).

6.2. SETTING DE LA CUCHILLA CENTRAL.- La posición de la cuchilla es , el alma mater para la buena marcha de los molinos. Por esta razón el ajuste de la cuchilla es una operación muy delicada, al igual, que el ajuste entre las mazas de entrada y salida.

Los factores principales que influyen en la determinación del ajuste de la cuchilla son los siguientes:

1) FORMA DE LA CUCHILLA.- El bagazo al pasar entre la maza cañera y la maza superior, tiende a expandir su volumen, como en el punto E y A (Fig. 27). Frente a esta dificultad, la cuchilla actua como un puente para hacer continuar dicha expansión desde B hasta C.

Si se acepta, que la superficie BC debe ir creciendo de B hacia C, y además que la velocidad radial, como la tangencial de una partícula de bagazo se hacen constantes en ese instante; entonces la curva "BC" debe ser una espiral logarítmica con centro en "O" (Fig. 28).

Por esta razón el ajuste de la cuchilla central es más importante, para el buen funcionamiento de los molinos.

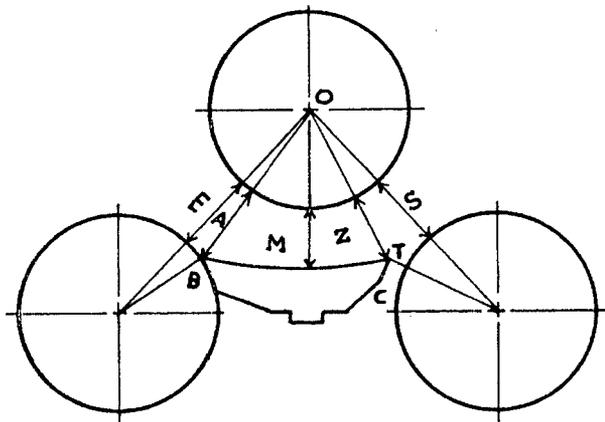


Fig. 27 Ubicación de la Cuchilla central(lado del piñón).

2) TRAZO DE LA CUCHILLA CENTRAL.- En la práctica muchos se confunden el arco de espiral logarítmico BC, con un arco de círculo geométrico.

Existen varios métodos del trazado de la cuchilla, sólo daremos algunas de ellas que nos servirán de referencia para tal efecto; pero no definitivamente. Para este trazado nos remitimos a la figura 28, del modo siguiente:

$$OQ = \frac{OM}{25} = \frac{R + e}{25}$$

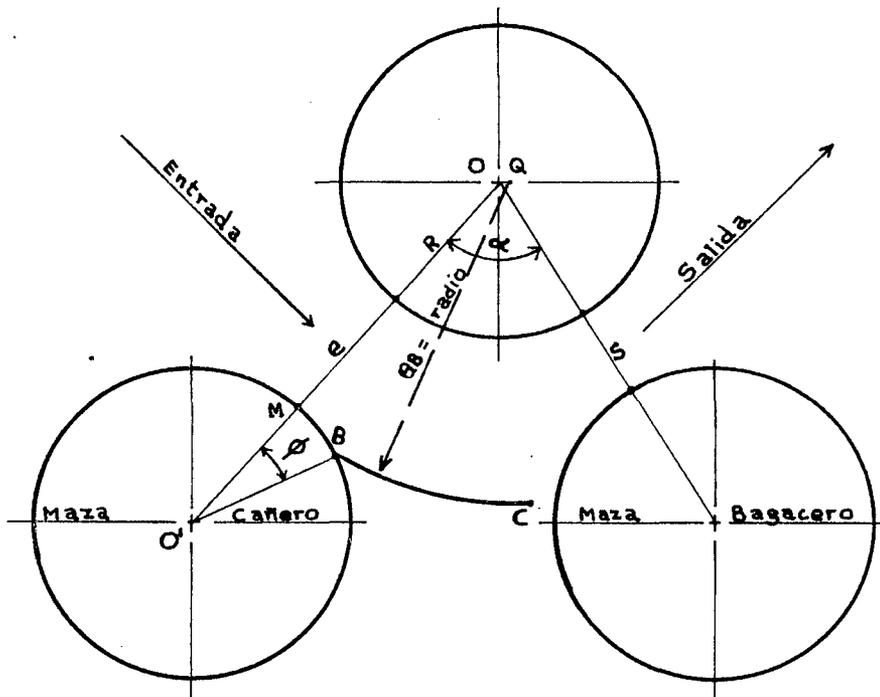


Fig. 28 Trazo de la Cuchilla

Donde:

Q = centro del trazado de la cuchilla

QB = radio de la cuchilla

B = punto en el cual, la punta de la cuchilla se apoya en el cañero

$$MO'B = \phi = \alpha/6 \quad ; \text{ si } \alpha = 72^\circ, \phi = 72/6 = 12^\circ$$

$$\text{El arco MB} = 3.1416D \frac{\phi}{360} = 0.0145 \times D \times \alpha$$

Siendo: D = diámetro medio de la maza cañera

α = ángulo de abertura del molino, en grados

e = abertura de entrada del colchón de caña.

La punta de la cuchilla donde se apoya en el gráfico, se redondea ligeramente para evitar que en este punto se forme una bolsa de bagazo.

3) ALTURA DE LA CUCHILLA.- En la figura 27, quedan por fijar las aberturas A, M, Z, y T.

Donde:

A = distancia de la maza superior a la punta de la cuchilla, en milímetros.

M = altura o distancia en el plano axial vertical de la maza superior, en mm.

Z = altura de la maza superior al talón de la cuchilla, en mm.

T = altura de la maza de salida al talón de la cuchilla, en mm.

E = abertura entre las mazas de entrada, en mm.

S = abertura entre las mazas de salida, en mm.

Estas distancias deben medirse con relación al diámetro medio de la maza superior y de la maza de salida. Se deberá evitar en lo posible que se midan con relación a la punta de los dientes, error común entre los operadores de molinos; lo correcto es que se deben medirse con relación al diámetro medio disminuido de una altura de la mitad

de un diente.

Diversos autores dan diferentes ajustes; pero realmente difiere, de acuerdo a cada planta de moler.

Cabe destacar ciertas consideraciones sobre la altura de la cuchilla en función de la posición de la cuchilla central. Esto es, que una cuchilla colocada muy alta absorbe una fracción considerable de la presión hidráulica total en detrimento de la extracción y alto consumo de potencia del molino; en consecuencia desgastándolo muy rápidamente y produciendo atascamientos, haciendo disminuir su capacidad.

Una cuchilla colocada muy baja origina en la maza de salida, un ángulo de toma muy elevado que hace difícil la toma, causando los riesgos de atascamiento. En consecuencia, en estas condiciones el bagazo tiende a formar un rollo, al arrastrar la maza superior, la parte alta del colchón de bagazo; mientras que la parte inferior de éste rozaba la cuchilla. Este efecto causa atascamientos, vibraciones y compresiones malas en la salida. Para evitar que los pequeños pedazos de bagazo caigan por R' (Fig. 29) debe adoptarse un ajuste más cerrado en la altura T entre el talón y la maza de salida.

Por lo tanto, es recomendable fijar la posición de la cuchilla, ni muy alto, ni muy bajo; sino moderadamente.

Cuando se habla de "altura" de la cuchilla nos referimos evidentemente a la distancia M, tomada con relación al diametro medio de la maza superior. Esto es, que la altura de la cuchilla varía a lo largo de la batería como varían las aberturas de entrada y de salida, y disminuye del primero al último molino.

En seguida se da una tabla en la cual las alturas en estado de trabajo específicas están dadas en mm, por Kg/m^2 de carga fibrosa.

TABLA 22. Relción M/q de la altura de la cuchilla por la carga fibrosa, en estado de trabajo.

BATERIA	11 MAZAS	12 Mazas	14 Mazas	15 Mazas
Molino Desm.	-	10	-	10
1er. Molino	7.5	6.8	7.5	6.8
2do. Molino	6.0	5.8	6.1	5.8
3er. Molino	5.4	5.3	5.5	5.5
4to. Molino	-	-	5.3	5.3

El valor de la cuchilla trabajando, tomado en el plano axial de la maza superior, en un molino cualquiera se obtiene multiplicando los valores de la tabla por la carga fibra "q", respectivamente.

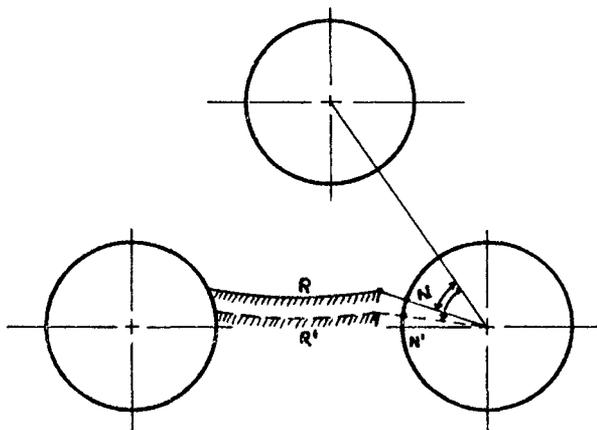


Fig. 29 Angulo de contacto con la maza bagacera.

6.2.1. CALCULO DEL SETTING DE LA CUCHILLA CENTRAL.

TABLA 23. Ajuste de la Cuchilla (abertura de entrada en trabajo).

Altura entre las mazas de entrada.	: E = 100
Altura de la maza superior desde la punta de la cuchilla.	: A = 150
Altura en el plano axial vertical de la maza superior.	: M = 175
Altura de la maza superior desde el talón de la cuchilla.	: Z = 190
Distancia de la maza de salida al talón de la cuchilla.	: T = 80

tabla que está confeccionada para una abertura delantera trabajando, tomando como base 100.

Esta tabla sirve para deducir entre la abertura E trabajando y su valor en reposo, aumentándose del 20 al 25 % y deducir las distancias-- A, M, y Z; mientras que la distancia T no varía. Este aumento se verifica para tener en cuenta que las distancias A, M y Z aumentan un incremento de altura cuando el cilindro superior se levanta un dh ; mientras que E sólo aumenta $dh \cos \alpha / 2$.

i) CALCULO DEL AJUSTE DE LA CUCHILLA TRABAJANDO Y EN REPOSO.

Usando la tabla 23, tenemos el cálculo para el primer molino:

Dato del cálculo logarítmico: E = 74.00 mm

Usando la tabla

: A = 74 x 1.50 =	111.0 mm.
M = 74 x 1.75 =	129.5 mm.
Z = 74 x 1.90 =	140.6 mm.
T = 74 x 0.80 =	59.2 mm.

La separación entre la abertura de entrada cargada y el ajuste en reposo elegido es:

$$74.0 - 59.20 = 15.0 \text{ mm.}$$

Cuando esta abertura disminuye 15 mm, A y Z bajan:

$$15 \times 1.20 = 18 \text{ mm.} = A = Z$$

Entonces: $M = 15 \times 1.25 = 18.75 \text{ mm.}$

CALCULO DE LOS VALORES DEL AJUSTE EN REPOSO:

$$E = 59.20 \text{ mm.}$$

$$A = 111 - 18 = 93.0 \text{ mm.}$$

$$M = 129.5 - 18.75 = 110.75 \text{ mm.}$$

$$Z = 140.6 - 18.0 = 122.60 \text{ mm.}$$

$$T = 59.20 \text{ mm.}$$

ii) CALCULO DEL AJUSTE DE LA CUCHILLA TRABAJANDO Y EN REPOSO DEL SE-
GUNDO MOLINO

$$E = 54.14 \text{ mm.}$$

Usando la tabla 23, tenemos:

$$A = 54.14 \times 1.50 = 81.21 \text{ mm.}$$

$$M = 54.14 \times 1.75 = 94.75 \text{ mm.}$$

$$Z = 54.14 \times 1.90 = 103.0 \text{ mm.}$$

$$T = 54.14 \times 0.80 = 43.3 \text{ mm.}$$

La separación entre la abertura de entrada cargada y el ajuste en reposo elegido es:

$$54.14 - 40.61 = 13.53 \text{ mm.}$$

Luego, cuando esta abertura disminuye 13.53 mm, A y Z bajan:

$$A = Z = 13.53 \times 1.20 = 16.24 \text{ mm.}$$

$$\text{y, } M = 13.53 \times 1.25 = 17 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LOS VALORES DEL AJUSTE EN REPOSO:

$$E = 40.61 \text{ mm.}$$

$$A = 81.21 - 16.24 = 65.0 \text{ mm.}$$

$$M = 94.75 - 17.00 = 77.75 \text{ mm.}$$

$$Z = 103.00 - 16.24 = 86.76 \text{ mm.}$$

$$T = 43.30 \text{ mm.}$$

iii) CALCULO DEL AJUSTE DE LA CUCHILLA TRABAJANDO Y EN REPOSO DEL
TERCER MOLINO

$$E = 47.60 \text{ mm.}$$

Usando la tabla 23, tenemos:

$$A = 47.60 \times 1.50 = 71.40 \text{ mm.}$$

$$M = 47.60 \times 1.75 = 83.30 \text{ mm.}$$

$$Z = 47.60 \times 1.90 = 90.44 \text{ mm.}$$

$$T = 47.60 \times 0.80 = 38.08 \text{ mm.}$$

La separación entre la abertura de entrada cargada y el ajuste en re
poso elegido es:

$$47.60 - 35.80 = 12.0 \text{ mm.}$$

Luego, cuando esta abertura disminuye 12 mm, A y Z bajan:

$$A = Z = 12 \times 1.20 = 14.40 \text{ mm.}$$

$$\text{y, } M = 12 \times 1.25 = 15 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LOS VALORES DEL AJUSTE EN REPOSO:

$$E = 35.80 \text{ mm.}$$

$$A = 71.40 - 14.40 = 57.0 \text{ mm.}$$

$$M = 83.30 - 15.00 = 68.30 \text{ mm.}$$

$$Z = 90.44 - 14.40 = 76.04 \text{ mm.}$$

$$T = 38.08 \text{ mm.}$$

iv) CALCULO DEL AJUSTE DE LA CUCHILLA TRABAJANDO Y EN REPOSO DEL MOLINO N^o 4

$$E = 43.40 \text{ mm.}$$

Usando la tabla adjunta, tenemos:

$$A = 43.40 \times 1.50 = 65.10 \text{ mm.}$$

$$M = 43.40 \times 1.75 = 75.95 \text{ mm.}$$

$$Z = 43.40 \times 1.90 = 82.50 \text{ mm.}$$

$$T = 43.40 \times 0.80 = 34.72 \text{ mm.}$$

La separación entre la abertura de entrada cargada y el ajuste en reposo elegido es:

$$43.40 - 32.55 = 10.85 \text{ mm.}$$

Luego, cuando esta abertura disminuye 10.85 mm, A y Z bajan:

$$A = Z = 10.85 \times 1.20 = 13.0 \text{ mm.}$$

$$y, M = 10.85 \times 1.25 = 13.56 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LOS VALORES DEL AJUSTE EN REPOSO:

$$E = 32.55 \text{ mm.}$$

$$A = 65.10 - 13.0 = 52.10 \text{ mm.}$$

$$M = 75.95 - 13.56 = 62.40 \text{ mm.}$$

$$Z = 76.04 - 13.0 = 63.04 \text{ mm.}$$

$$T = 34.72 \text{ mm}$$

v) CALCULO DEL AJUSTE DE LA CUCHILLA TRABAJANDO Y EN REPOSO DEL QUIN
TO MOLINO

$$E = 40.60 \text{ mm.}$$

Usando la tabla adjunta, tenemos:

$$A = 40.60 \times 1.50 = 61.0 \text{ mm.}$$

$$M = 40.60 \times 1.75 = 71.0 \text{ mm.}$$

$$Z = 40.60 \times 1.90 = 77.14 \text{ mm.}$$

$$T = 40.60 \times 0.80 = 32.50 \text{ mm.}$$

La separación entre la abertura de entrada cargada y el ajuste en re
poso elegido es:

$$40.60 - 28.42 = 12.20 \text{ mm.}$$

Luego, cuando esta abertura disminuye 12.20 mm, A y Z bajan:

$$A = Z = 12.20 \times 1.20 = 14.64 \text{ mm.}$$

y :

$$M = 12.20 \times 1.25 = 15.25 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LOS VALORES DEL AJUSTE EN REPOSO:

$$E = 28.42 \text{ mm.}$$

$$A = 61.00 - 14.64 = 46.40 \text{ mm.}$$

$$M = 71.00 - 15.25 = 55.75 \text{ mm.}$$

$$Z = 77.14 - 14.64 = 62.50 \text{ mm.}$$

$$T = 32.50 \text{ mm.}$$

6.2.2. AJUSTES RECOMENDADOS DE LA CUCHILLA CENTRAL.- En Java, se acostumbra utilizar el ajuste de la cuchilla simplificado, expresado por la fórmula siguiente:

$$Z = A + 0.04L \quad (79)$$

Donde:

Z = distancia de la maza superior al talón de la cuchilla, en mm.

A = distancia de la maza superior a la punta de la cuchilla, en mm.

L = ancho de la cuchilla, en mm.

Generalmente, en los molinos modernos una vez fijado las posiciones relativas de los tres cilindros, es posible alterar el ajuste de la cuchilla únicamente en dos direcciones: vertical y horizontalmente ; es decir hacia arriba y hacia abajo o hacia atrás y hacia adelante.

En los molinos modernos actuales , el ajuste se realiza mediante una "excéntrica", pivoteada sobre un eje y queda fijado en contacto con la maza de alimentación. Mediante esta excéntrica se puede levantar o bajar la cuchilla, simplemente haciendo girar ésta; y son más fáciles, más rápidos y más prácticos.

En estas condiciones únicamente pueden efectuarse los ajustes en A, M o Z. Generalmente el ajuste se hace en M y es responsabilidad del diseñador del molino, y para cualquier valor razonable de M, habrá una dimensión A y Z correcta, cualquiera que sea el desgaste de las mazas.

Evidentemente, es responsabilidad del Ingeniero encargado del ajuste

de verificar que la distancia T se conserve en un valor satisfactorio no muy amplio ni muy estrecho.

La altura M de la cuchilla, como las aberturas de entrada (E) y salida (S), evidentemente se refiere a las aberturas trabajando; dependen de la carga fibrosa.

Según HUGOTT, si las aberturas E y S se eligen correctamente, la altura M de la cuchilla trabajando está dada por la siguiente relación:

$$M = E + 0.40q : \text{Molino desmenuzador}$$

$$M = E + 0.32q : \text{1er. Molino después de la desmenuzadora.}$$

$$M = E + 0.28q : \text{1er. Molino después del molino desmenuzador.}$$

$$M = E + 0.23q : \text{Otros molinos}$$

Donde:

M = altura, en el plano axial entre la cuchilla central y el diámetro medio de la maza superior trabajando, en cm.

E = abertura delantera trabajando, en cm.

q = carga fibrosa, en Kg/m².

Consecuentemente las alturas de la punta A y del talón Z deben variar en proporción del orden de magnitud siguiente:

$$A = E + (0.15 \text{ a } 0.19) \times q$$

$$Z = E + (0.26 \text{ a } 0.54) \times q$$

Y:

$$T = 0.41 \times E$$

Los valores de M, A, Z y T (arriba indicado), se calcularán bajo las

consideraciones siguientes:

- i) La distancia A se mide en el punto más cercano a la maza superior.
- ii) La relación E/S es correcta (Tabla 19) o está muy cerca de los valores correctos.
- iii) Las distancias de A, M y Z se expresan con relación al diámetro medio, la magnitud T referida con la abertura media.
- v) Si el borde trasero de la cuchilla tiene muescas que corresponden a los dientes del cilindro trasero, el espacio T deberá referirse al espacio que se encuentra entre la línea media del borde posterior de la cuchilla y el diámetro medio de la maza.

Una vez fijado el valor de M, bajo estas consideraciones, es necesario deducir de él (trabajando) los valores correspondientes en reposo.

Para molinos de vírgenes simétricas, el valor de la altura axial entre la cuchilla central y la maza superior en reposo, será:

$$m_0 = M - 1.25(S - S_0) \quad (80)$$

Siendo:

S = abertura de salida trabajando

S₀ = abertura de salida en reposo

m₀ = altura, en el plano axial entre la cuchilla y el diámetro medio de la maza superior, en reposo.

M = altura, en estado de trabajo

Para vírgenes con cabezotes inclinados, en 15°, su valor en reposo será:

$$m_0 = M - (S - S_0)$$

C A P I T U L O VII

EVALUACION DE COSTOS

Para la evaluación económica del molino triturador de caña de azúcar, de virgen inclinada, de 210 TCH de capacidad de molienda; se ha considerado dos aspectos; primero, los recursos económicos necesarios para la instalación del proyecto, es decir las inversiones de campo y el montaje de fábrica (Trapiche) y segundo, los requeridos para la etapa de funcionamiento. Lo primero constituye la inversión fija y lo segundo el capital de trabajo.

En este rubro de inversiones; primero se confecciona un listado completo de todos los materiales utilizados, para obtener el costo de materia prima.

El costo de la máquina terminada se obtiene por la suma del costo de la mano de obra, costo de transporte y los gastos de fabricación y montaje al costo de la materia prima.

7.0. COSTO DE MATERIALES : PIEZAS FUNDIDAS

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	PESO/PZA.	VENTA x KG. S/.	VENTA S/. x PZA.	VENTA US\$ x PZA.	PRECIO EN S/.
1	01	Eje superior, de Acero AISI - 4340H.	6,245 Kgs.	-	52'399,000.00	12,200 1/	52'399,000.00
2	02	Ejes inferiores, de Acero AISI - 4340H.	5,870 Kgs.	-	47'245,000.00	11,000 1/	94'490,000.00
3	03	Mazas, de Fe. fdo. especial, MEZ - E.	10,800 Kgs.	5,000	54'000,000.00	-	179'820,000.00
4	01	Puente, de Fe. fundido ASTM - 30.	1,250 Kgs.	4,970	6'212,500.00	-	6'895,875.00
5	01	Cuchilla Central, Acero DIN - X120Mn12.	480 Kgs.	4,450	2'136,000.00	-	2'370,960.00
6	01	Virgen, de Acero fdo. ASTM-517 - MEPSA-1/3.	5,700 Kgs.	9,000	51'300,000.00	-	56'943,000.00
7	01	Cabezote Hidráulico, Fe. fdo. ASTM - 40.	2,000 Kgs.	4,890	9'780,000.00	-	10'855,800.00

1/. Precio de cotización de los ejes importados, incluyendo embalaje marítimo y flete puerto- Callao-Perú.
Precio, de 10 de Octubre, 1984.

Continuación.

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	PESO/PZA.	VENTA x KG. S/.	VENTA S/. x PZA.	VENTA US\$ x PZA.	PRECIO EN S/.
8	01	Guardajugos, de Ace ro ASTM - 517.	950 Kgs.	8,950	8'502,500.00	-	8'502,500.00
9	02	Cojinetes superio - res, Bronce fosforo- so SAE - 64.	150 Kgs.	4,500	675,000.00	-	1'498,500.00
10	01	Excéntrica, de Acero AISI - 3115.	8 Kgs.	-	30,000.00	-	33,300.00
11	01	Templador, Acero SAE- 1020.	5 Kgs.	-	15,000.00	-	16,650.00
12	03	Piñones, de Acero fdo.1,250 Kgs. SAE - 4640.	6,208	6,208	7'760,000.00	-	25'840,800.00
13	02	Dados, Fe.fdo.SAE-40.	1,050 Kgs.	4,680	4'914,000.00	-	10'909,080.00
<u>PESO TOTAL :</u>			<u>66,928.0 Kgs.</u>		<u>TOTAL :</u>	<u>S/.</u>	<u>288'737,470.00</u>

2/. Precios cotizados, con fecha, 10 de Octubre, de 1984-MEPSA.

COSTO DE OTROS MATERIALES CONSUMIBLES UTILIZADOS

<u>SOLDADURA</u> :	PRECIO S/.
E 6011 de 1/8" CELLOCOR AP : 30 Kgs.	900,000.00
E 6011 de 5/16" CELLOCOR AP : 25 Kgs.	750,000.00
E 6013 de 5/16" OVERCOR "S" : 25 Kgs.	750,000.00

OXIGENO :

2 Botellas, de 8 m ³ de capacidad c/u.	480,000.00
---	------------

PROPANO :

1 Botella, de 8 m ³ de capacidad	216,000.00
---	------------

PINTURA :

4 Galones de Acondicionador para metales	280,000.00
9 Galones de Pintura Anticorrosiva Rojo	900,000.00

COSTO TOTAL S/. 4'276,000.00

7.1. COSTO DE TRANSPORTE DE EQUIPOS Y PERSONAL, ALOJAMIENTO Y ALIMENTACION.

ITEM	CAPACIDAD	DESCRIPCION	PRECIO EN S/.
1		CAMIONES PESADOS Y VEHICULOS LIVIANOS	
1.1	18 Tons.	Tracto camión con semitrailer Volvo - 88	4'000,000.00
1.2	52 Tons.	Tracto camión trailer de plataforma con baranda - Volvo	4'500,000.00
1.3	5 pasaje ros	Microbus " Kombi " - Volkswagen	450,000.00

TOTAL S/. 8'950,000.00

Las tarifas indicadas incluyen el gasto de combustible, grasa, repues-
tos, mano de servicio y mantenimiento, gastos generales, utilidad, y
timbres.

El numeral 1.1, indica el transporte de los ejes de acero, desde la a
duana del Puerto del Callao hasta Paramonga.

El numeral 1.2, indica el transporte de piezas del molino desde la fá
brica de Fundición MEPSA, hasta la fábrica de Azúcar - Paramonga.

ALIMENTACION :

5 personas x S/. 60,000/Día x 6 Días. S/. 1'800,000.00

ALOJAMIENTO :

5 personas x S/. 80,000/Día x 6 Días. 2'400,000.00

OTROS : 550,000.00

TOTAL S/. 4'750,000.00

TOTAL GASTO DE TRANSPORTE DE EQUIPOS Y PERSONAL, ALIMENTACION Y ALOJA-
MIENTO ES DE : S/. 13'700,000.00

7.2. COSTO DE MANO DE OBRA

A) MANO DE OBRA DE FABRICACION Y MONTAJE DEL MOLINO TRITURADOR DE CA
ÑA EN PARAMONGA - FABRICA DE AZUCAR

TIEMPO : 05 Días Calendarios.

2 Torneros x S/. 55,000/Día x 5 Días. S/. 275,000.00

1 Maestro Trazador S/. 50,000/Día x 1 Día. 50,000.00

1 Soldador x S/. 45,000/Día x 5 Días.	S/. 225,000.00
1 Originista x S/. 30,000/Día x 5 Días.	150,000.00
4 Ayudantes x S/. 24,000/Día x 5 Días.	480,000.00
2 de Cepillo x S/.50,000/Día x 5 Días.	500,000.00
2 Tramoyistas de Máquina x S/.60,000/Día x 5 Días.	600,000.00
2 Mecánicos-Electricistas x S/. 45,000/Día x 5 Días.	450,000.00
1 Supervisor x S/. 60,000/Día x 5 Días.	300,000.00
	<hr/>
TOTAL S/.	3'030,000.00

B) GASTOS DE INGENIERIA Y SUPERVISION A COSTOS REEMBOLSABLES

1 Ingeniero Jefe del Proyecto (Paramonga) :	S/.	5'000,000.00
1 Ingeniero supervisor Jefe (Paramonga) :		3'450,000.00
1 Ingeniero supervisor de Montaje (Lima) : 1/		1'500,000.00
1 Ingeniero Asesor Técnico (Lima) :		3'850,000.00
1 Supervisor de Seguridad (Lima) : 1/		1'380,000.00
2 Técnicos de Montaje (Lima) x65,000 x 6 : 1/		780,000.00
1 Chofer (Paramonga)xS/.50,000/Día x 30 Días:		1'500,000.00
		<hr/>
TOTAL S/.		17'460,000.00

NOTA :

1/. Indica el costo de montaje y supervisión durante los 6 días.

Los restantes están calculados (caso de Paramonga) a base de 30 días.

CONDICIONES:

- 1.- Las tarifas incluyen sueldo, leyes sociales, gastos generales, utilidad y timbres.
- 2.- Se consideran como "GASTOS REEMBOLSABLES" aquellos aplicables di-

rectamente al proyecto, demostrables con documentos autorizados por el cliente tales como :

Copias Xerográficas y Ozalid, llamadas telefónicas de larga distancia y telex, trabajos de terceros, viáticos y desplazamiento fuera de la zona de Paramonga, etc., sobre los cuales se cobrará 20% por concepto de gastos generales.

3.- Las tarifas anteriormente indicadas se entiende por horario normal, excluyendo horas - extras.

7.3. PRESUPUESTO, FABRICACION, MONTAJE Y PRUEBA DEL MOLINO TRITURADOR DE CAÑA DE AZUCAR DE VIRGEN INCLINADA - PARAMONGA

PRESUPUESTO :

MATERIALES 66.928 Tons.	288'737,470.00
MATERIALES CONSUMIBLES	4'276,000.00
TRANSPORTE DE EQUIPOS Y PERSONAL, ALIMENTACION Y ALOJAMIENTO.	13'700,000.00
MANO DE OBRA :	
MANO DE OBRA, FABRICACION Y MONTAJE	3'030,000.00
SERVICIOS DE INGENIERIA Y SUPERVISION	17'460,000.00
INSTALACION DE UN JUEGO DE MACHETES	5'000,000.00
GASTOS EXTRAS E IMPREVISTOS.	10'000,000.00
	<hr/>
TOTAL S/.	342'203,470.00

EL PRESUPUESTO PARA LA COOPERATIVA AZUCARERA PARAMONGA, POR LA FABRICACION, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL MOLINO DE CAÑA, DE 5,000 TCD , DE CAPACIDAD DE MOLIENDA ES :

TRECIENTOS CUARENTA Y DOS MILLONES DOSCIENTOS TRES MIL CUATROCIENTOS

SETENTA MIL SOLES ORO (S/. 342'203,470.00) .

FABRICACION Y MONTAJE

La Fabricación del Molino se realizó en su primer etapa, el Pre-Fabricado de Piezas en los talleres de fundición de la Compañía Metalúrgica Peruana MEPSA, tales como: Mazas de Fe. fdo., Virgen de Acero fdo., - Puente de la cuchilla, Cuchilla Central, Cabezote, etc.

Los ejes, superior e inferiores del molino, se importaron desde Inglaterra de la Firma FLETCHER, mediante la representación de la Firma — CIP. LTDA.

En su segunda etapa, se realizó el acabado de piezas fundidas en los talleres de la Cooperativa Azucarera Paramonga.

EL MONTAJE DEL MOLINO, se realizó en la Cooperativa Azucarera Paramonga, ubicada en el Distrito de Paramonga, Provincia de Chancay - Departamento de Lima.

TIEMPO UTILIZADO : 6 días calendarios.

PERSONAL REQUERIDO:

2 Tramoyistas (o Armadores - Paramonga).

2 Técnicos especializados - Paramonga.

1 Suervisor Jefe (Ingeniero- Paramonga).

1 Asesor Técnico (Ingeniero - Paramonga).

1 Supervisor (Ingeniero - Lima).

2 Técnicos - Lima.

Trabajadores de la Planta de Molienda y Lavado - Paramonga.

En el presente proyecto se ha instalado tan solamente un Molino; de-

biendo instalarse los cuatro Molinos restantes en un lapso de 3 años, sigüentes a partir de la fecha.

Una vez efectuado el desmontaje de los molinos viejos , se empezó el montaje de los molinos nuevos, conservando la base existente de Anclajes, primero el anclaje de la virgen inclinada y alineamiento entre-centros, luego se fueron colocando los dos ejes inferiores con sus mazas respectivas mediante una grúa puente de 35 toneladas de capacidad y el Puente de la cuchilla, la Cuchilla central y el ajuste respectivo. Luego, se colocaron el eje superior con su maza respectiva y el alineamiento de ejes, y el ajuste del molino tanto de la entrada como, a la salida de las mazas.

Una vez chequesado el reglaje del ajuste, se instalaron los cojinetes superiores y el Cabezote Hidráulico, en conexión con el acumulador hidráulico.

Finalmente, se realizó una inspección general del montaje, dando algunos ajustes de las piezas respectivas del molino, dando la señal de puesta en marcha del equipo.

PRUEBA DE PUESTA EN MARCHA DEL MOLINO

La prueba del molino se realizó en la Planta de Molienda - Paramonga, conjuntamente en presencia de la Super-intendencia General de Planta, Gerente General de la Fábrica, Super-intendente de Mantenimiento y Señores representantes de la Firma EFE COMERCIAL.

La prueba se llevó acabo a marcha lenta del último hacia el primer molino con una capacidad 50 TCH, luego se va aumentando poco a poco pa

ra llegar hasta 210 TCH de molienda.

Se efectuaron las maniobras de supervisión general de toda la batería de molinos , realizando nuevamente todos los ajustes necesarios para la puesta en funcionamiento propiamente dicho del molino en su conjunto.

A satisfacción de todas las autoridades presentes se efectuó la entrega del molino de Virgen Inclinada por parte de los fabricantes, a la Cooperativa Azucarera Ltda. Nº 37 - Paramonga.

POR CONSIGUIENTE :

La Cooperativa Azucarera Paramonga Ltda. Nº 37, ha invertido en la instalación del Molino de Virgen Inclinada, en las siguientes adquisiciones:

- Contrato por la importación de Ejes de Acero
con la Firma CIF.LTDA., por. S/.146'889,000.00
- * Contrato por Fabricacion de piezas fundidas
con MEPSA e EFE COMERCIAL y Montaje, por. 195'414,470.00

INVERSION TOTAL S/. 342'203,470.00

C A P I T U L O VIII

CONCLUSIONES

Debido a que el Molino de Caña de Azúcar, de acuerdo a su fabricación y disponibilidad de Ambientes y Accesorios, se hace versátil, de tal manera que la Industria Azucarera Peruana representa un renglón importante, dentro de nuestra economía nacional y, ofrece las siguientes--ventajas :

- 1.- Sirve para aumentar el tonelaje de caña hora de molienda de caña, del Ingenio Azucarero Paramonga.
- 2.- Incremento en el ingreso de divisas al País, al incrementar la capacidad de producción permitiendo la ampliación de la exportación, ya que el creciente desarrollo del mercado interno ha causado un drenaje sostenido a la fracción exportable de azúcar limitando la participación en el Mercado Americano Mundial.
- 3.- La posibilidad de promover el aumento del consumo Pér - cápita de este producto en lugar de limitarse a producir para compensar el crecimiento vegetativo de la demanda Nacional.
- 4.- Sirve para mejorar el rendimiento de Extracción de la Batería.
- 5.- El volumen de la producción de azúcar, permitirá satisfacer el consumo del mercado interno; sin la necesidad de recurrir a la importación de este producto.
- 6.- Incremento de la eficiencia de Planta, de 2,500 TCD a 5,000 TCD.

Pues, de lo dicho, que todo esfuerzo por llevar adelante este proyecto, será frente a los beneficios que su concrección habrá de significar para la Industria Azucarera y para el País.

RECOMENDACIONES

- 1.- Dado el incremento de la Población Peruana en los últimos años, se prevee una fuerte demanda de consumo en el mercado interno y para satisfacer esta creciente demanda, sin mermar nuestros niveles de exportación; se hace imprescindible el incremento de las áreas de cultivo de caña de azúcar, tanto a nivel nacional, como local.
- 2.- Implementar una adecuada racionalización de los recursos hídricos a través de nuevas perforaciones de pozos, mejoras en las eficiencias de conducción y aplicación de agua; nos plantea una alternativa tanto a nivel local como a nivel nacional, para evitar estragos repentinos que pueden afectar al rendimiento de la producción y la productividad.
- 3.- En esta Cooperativa, o en cualquier otra cuyo desarrollo tecnológico, social o económico dependa de las acciones, que como producto de la planificación de sus hombres; debe cuidarse del elemento humano, buscando elevar el nivel intelectual de sus socios, profesionales y técnicos de las diferentes escalas de mandos existentes; situación que es particularmente importante consolidar aún más si se trata de una empresa autogestionaria.
- 4.- Nuestra Industria Azucarera Nacional, en estos últimos años, ha disminuido su producción y productividad debido a los estragos de la sequía e inundaciones, por lo que nos plantea a nivel nacional interesando al gobierno a acelerar un planteamiento de estructuras, reorganización y apoyo al planeamiento agrícola, económico y social, para salir de la crisis de producción nacional.
- 5.- Es imprescindible establecer el estudio del avance Tecnológico de

la industria azucarera, en base de sus elementos profesionales y técnicos de la Cooperativa - Paramonga; en forma de una Asociación de — Técnicos Azucareros, con el único objetivo de mejorar la molienda de caña, buscando nuevas innovaciones, para mejorar el índice de eficiencia de extracción en una batería de molinos. Unicamente así, se podrá elevar nuestra producción nacional, para poder abastecer el consumo— interno, como la demanda del mercado exterior.

6.- Habiéndose observado la deficiencia de la "TINA DE LAVADO", nos— plantea la solución del problema, mediante la modificación de tal sistema.

A P E N D I C E

I .- ABREVIACIONES UTILIZADAS

T.C.D. = Toneladas de caña por día.

T.C.H. = Toneladas de caña por hora.

T.F.H. = Toneladas de fibra por hora.

P.H.T. = Presión hidráulica total, en términos de fuerza.

P.H.E. = Presión hidráulica específica, ó Presión hidráulica Aprovechable (P.H.A.); expresados en términos de fuerza.

N = Número de mazas de una batería.

f = Fibra de caña en porcentaje.

d = densidad del bagazo comprimido en el plano axial de las mazas de salida en Kg/m^3 .

F = Fibra de bagazo en relación a la unidad.

H.P.I. = Potencia indicada.

R.C. = Relación de compresión del bagazo.

C.F. = Carga fibrosa en Kg/m^2 .

C.F.E. = Carga fibrosa específica en Kg/m^3 .

I.S.S.C.T. = Congreso de la Sociedad Internacional de Tecnólogos A zucareros.

II.- TERMINOS EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

JUGO (GUARAPO): Es la fase líquida que se extrae de la caña de a zucar.

JUGO ABSOLUTO : Es el jugo de caña tal y como se encuentra en --

ella, que incluye todos los sólidos solubles y el agua que acompaña a las sustancias en estado coloidal.

JUGO MEZCLADO (DILUIDO): Es el jugo que se extrae por molienda y que incluye una parte o la totalidad del agua añadida, para aumentar la extracción durante la molienda.

AGUA DE IMBIBICION : Es el agua que se agrega durante la operación de molienda para mejorar la eficiencia de extracción.

AGUA DE DILUCION : Es la parte del agua de imbibición que se extrae en la molienda y que diluye el jugo(guarapo).

CACHAZA(TORTA DE FILTRO):Es el resultado de lodos sedimentos en procedimiento de clarificación, después que han sido filtrados-- para recuperar la sacarosa que contiene.

MIEL : Es el líquido madre de la masa cocida de azúcar separado por centrifugación.

MIEL FINAL : Es la miel que se obtiene como subproducto de la-- última masa cocida, en el proceso de agotamiento.

MAGMA : Es la suspensión de cristales de azúcar en agua, jugo -- clarificado o meladura, en la que los cristales no se disuelven en proporción apreciables.

AZUCAR CRUDO : Es el producto sólido cristalizado obtenido directamente del jugo, con un porcentaje alto de impurezas. Su grado de polarización es de 96° .

AZUCAR BLANCO DIRECTO: Producto que se obtiene directamente del jugo de caña de azúcar, mediante procedimientos industriales apropiados, de remoción de impurezas y de color. Es una forma de azúcar un poco menos impuro que el anterior, con un grado de pola

rización es de 97° a 98° Pol. en porcentaje.

AZUCAR BLANCO REFINADO : Es el producto que se obtiene por refinación. Constituido de sacarosa pura, limpios y brillantes; posee una polarización de 99° Pol. (99 %) y de acuerdo a su forma de presentación es granulado, moldeado o en polvo.

AZUCAR MOSCABADO (O MARCA-TE): Este tipo de azúcar posee un grado de polarización de 84° a 88° Pol. porque los cristales de sacarosa se encuentran recubiertos por una película de miel mucho más gruesa que los anteriores. La miel de éste producto es utilizado en las destilerías a fin de obtener alcoholes.

BRIX : Es el porcentaje, en peso de todos los sólidos disueltos en el jugo de caña. El instrumento para la determinación que porcentaje de sacarosa existe se llama BRIXOMETRO.

PUREZA: Es la relación existente entre la proporción de sacarosa y el brix. En otras palabras, es la masa total disuelta de sacarosa por la masa total de sólidos disueltos. Un jugo se considera bueno, cuando su pureza es de 85 %, uno de 90 % será mucho mejor pues contendrá 5 % menos de impurezas.

POLARIZACION: Es el grado de polarización de azúcar expresados en porcentaje de impurezas. Se acostumbra representar azúcar de 98° Pol.

III.- DIAGRAMAS Y TABLAS.

- Gráfico, para seleccionar cojinetes.

- Gráfico de esfuerzos: Factores de concentración de esfuerzos

FIGURA 2

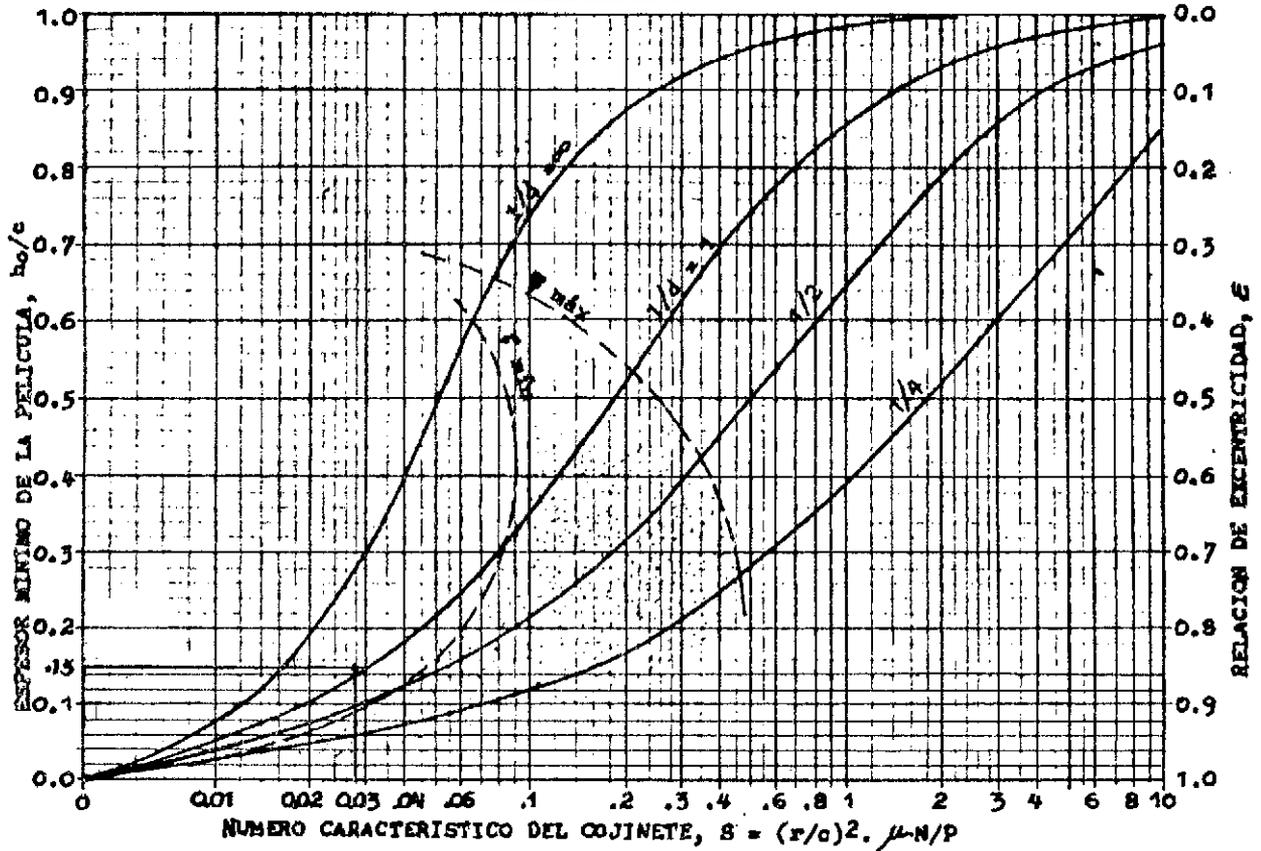


FIGURA 3

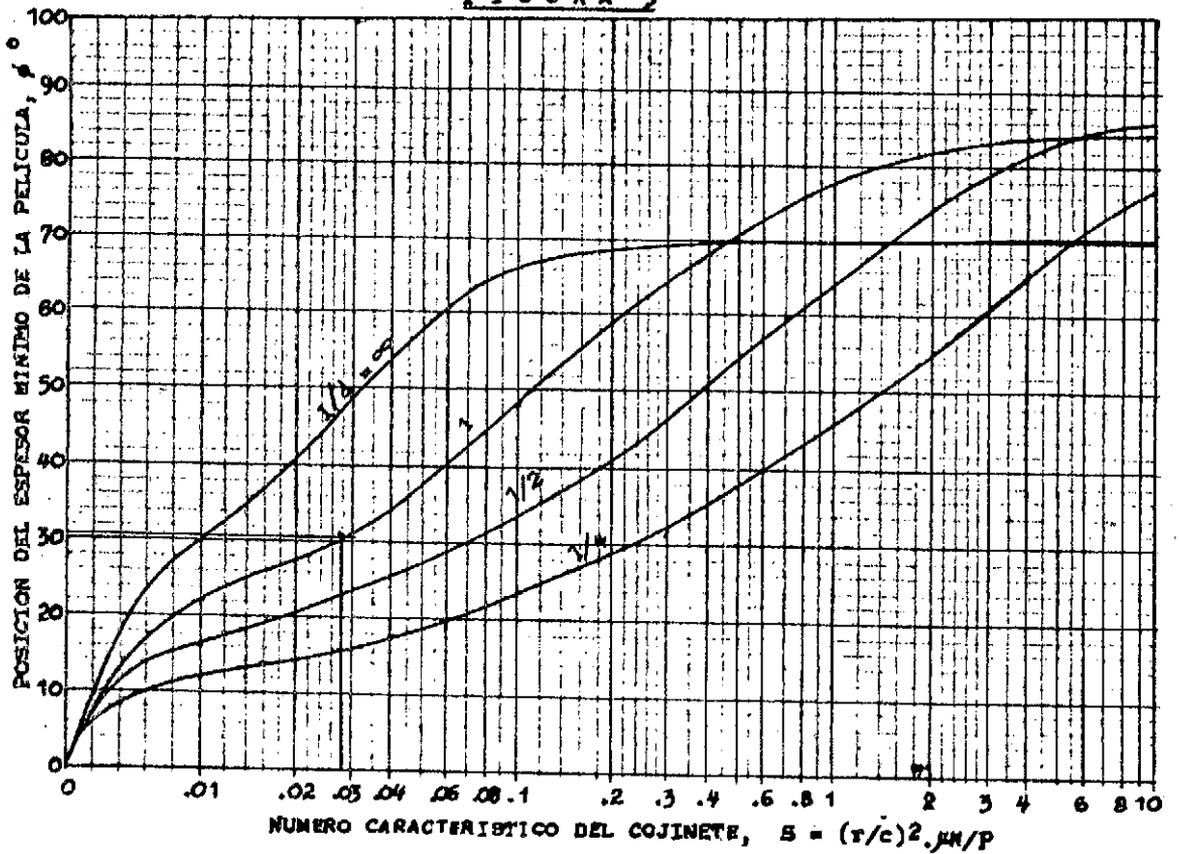


FIGURA Nº 4

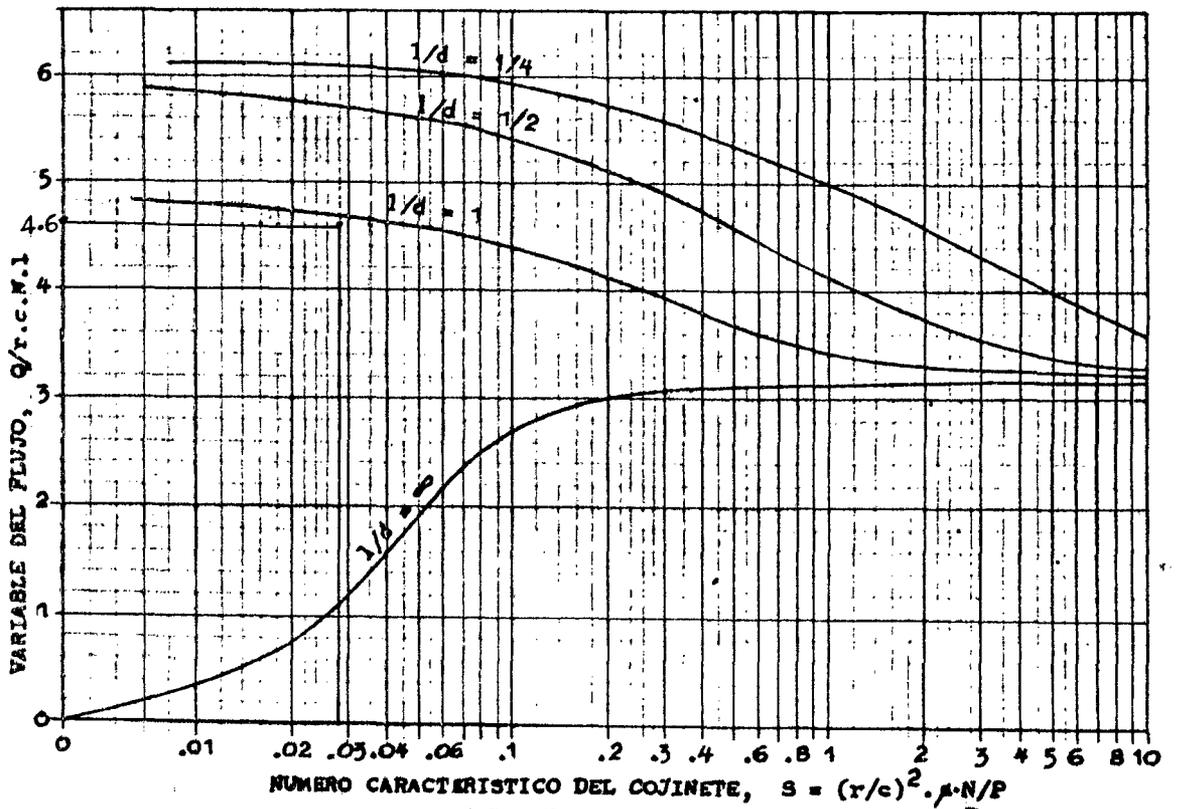
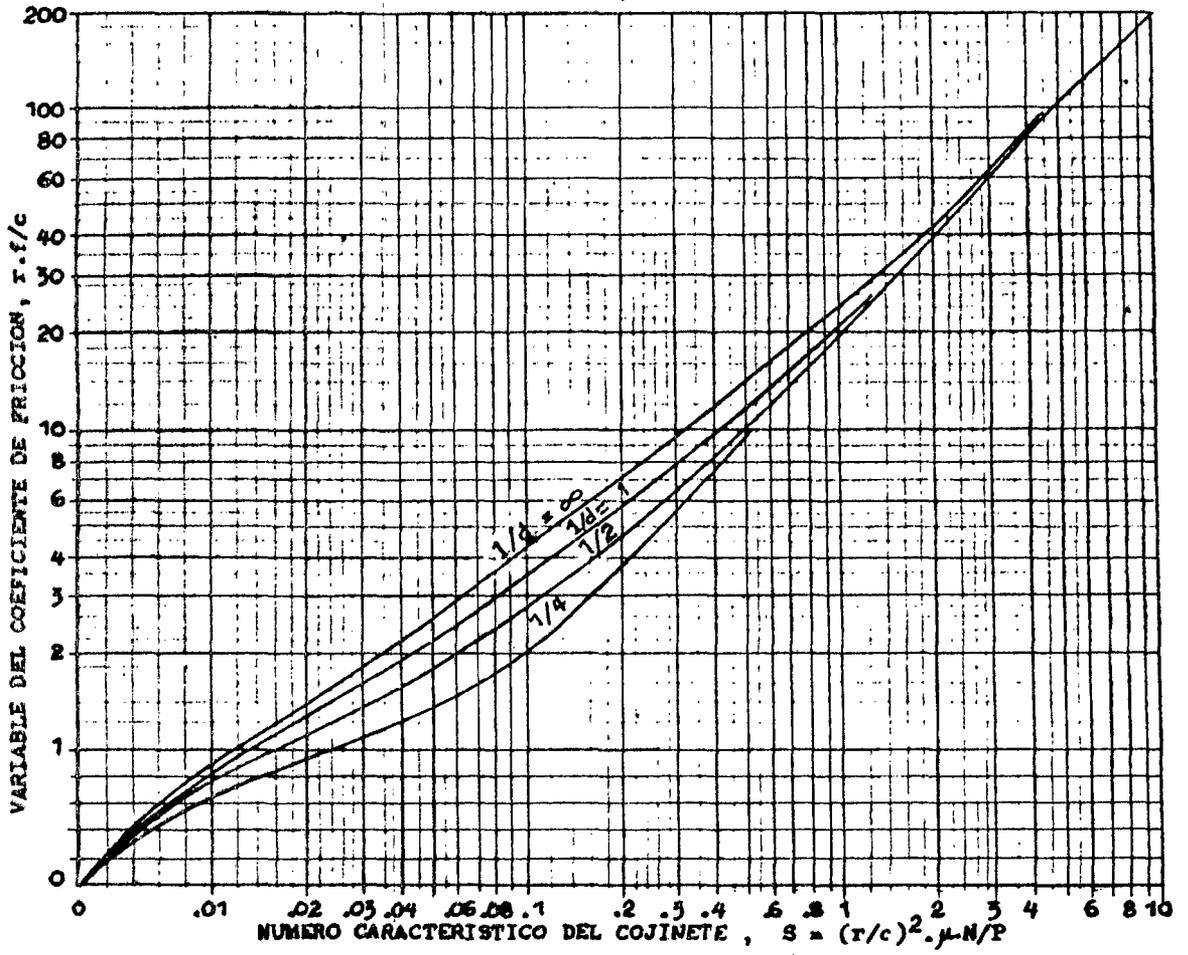


FIGURA 5

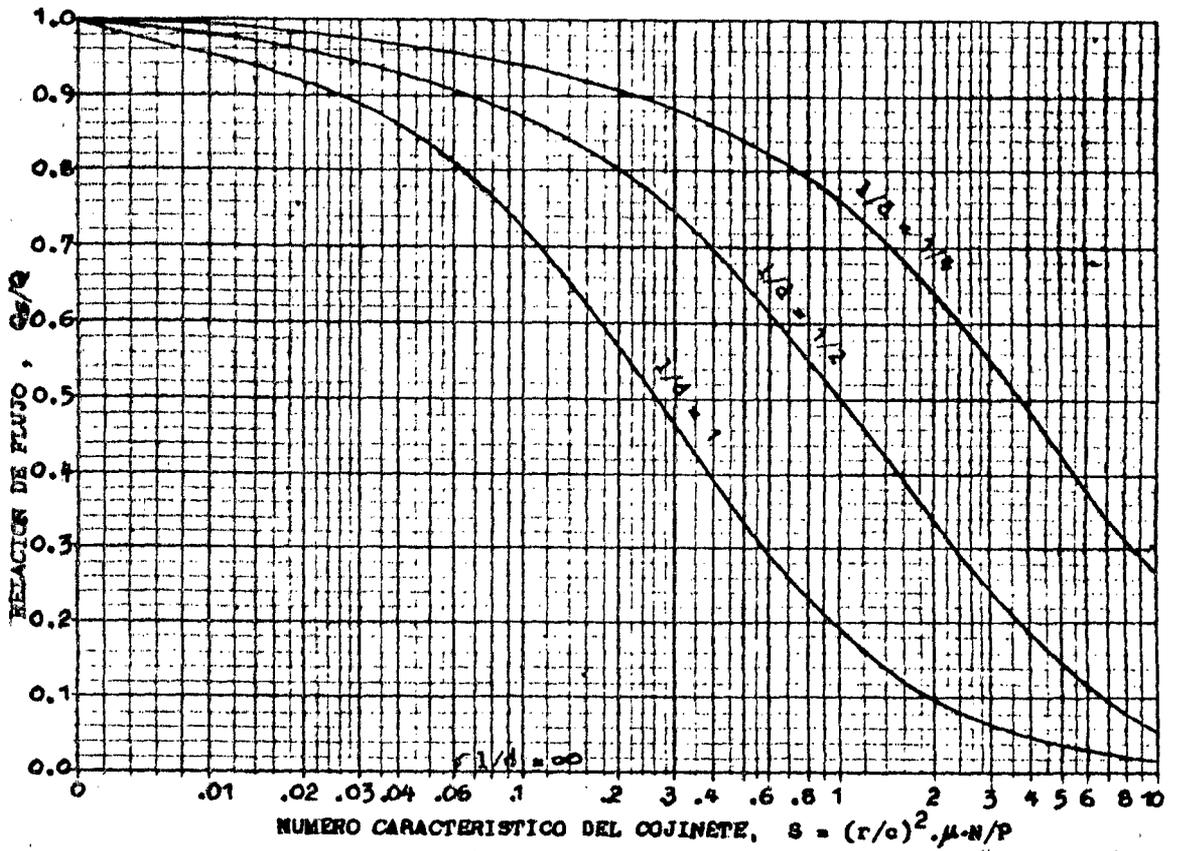


FIGURA 6

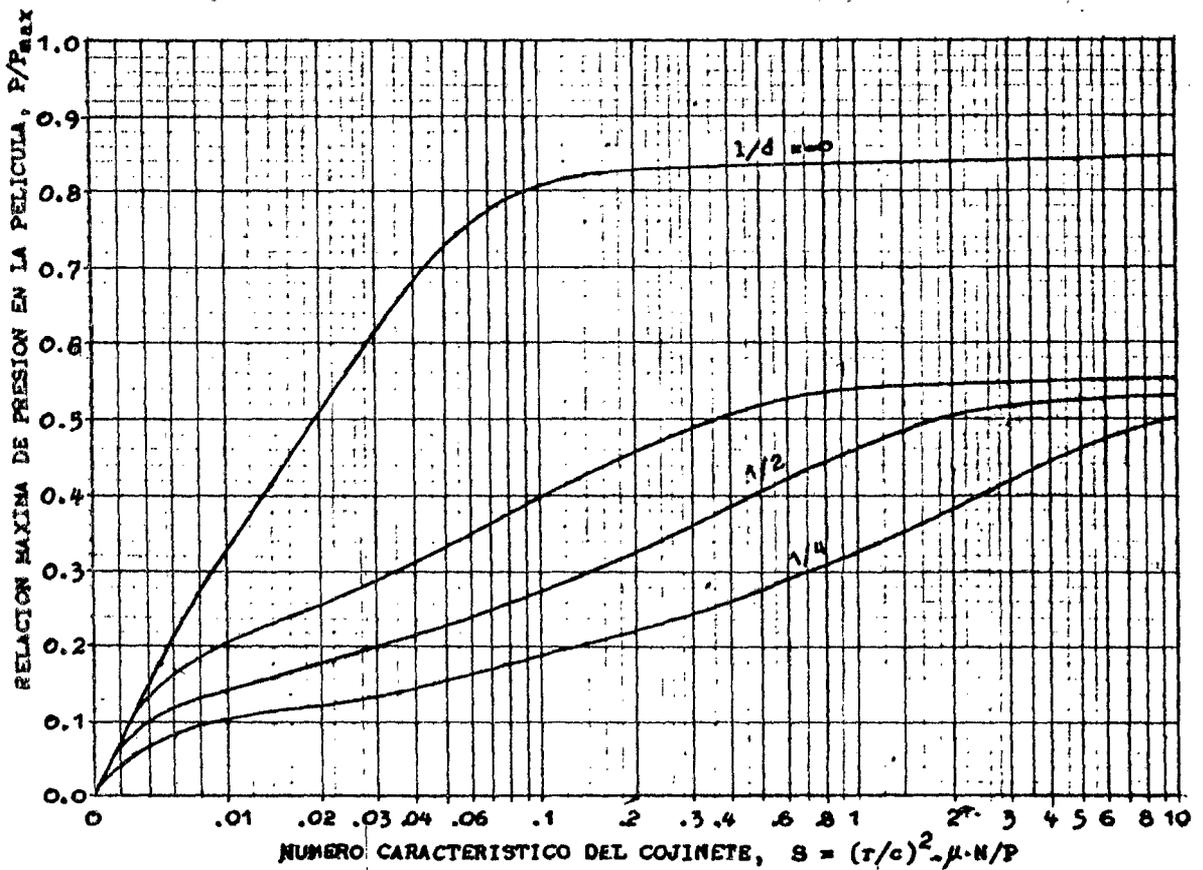
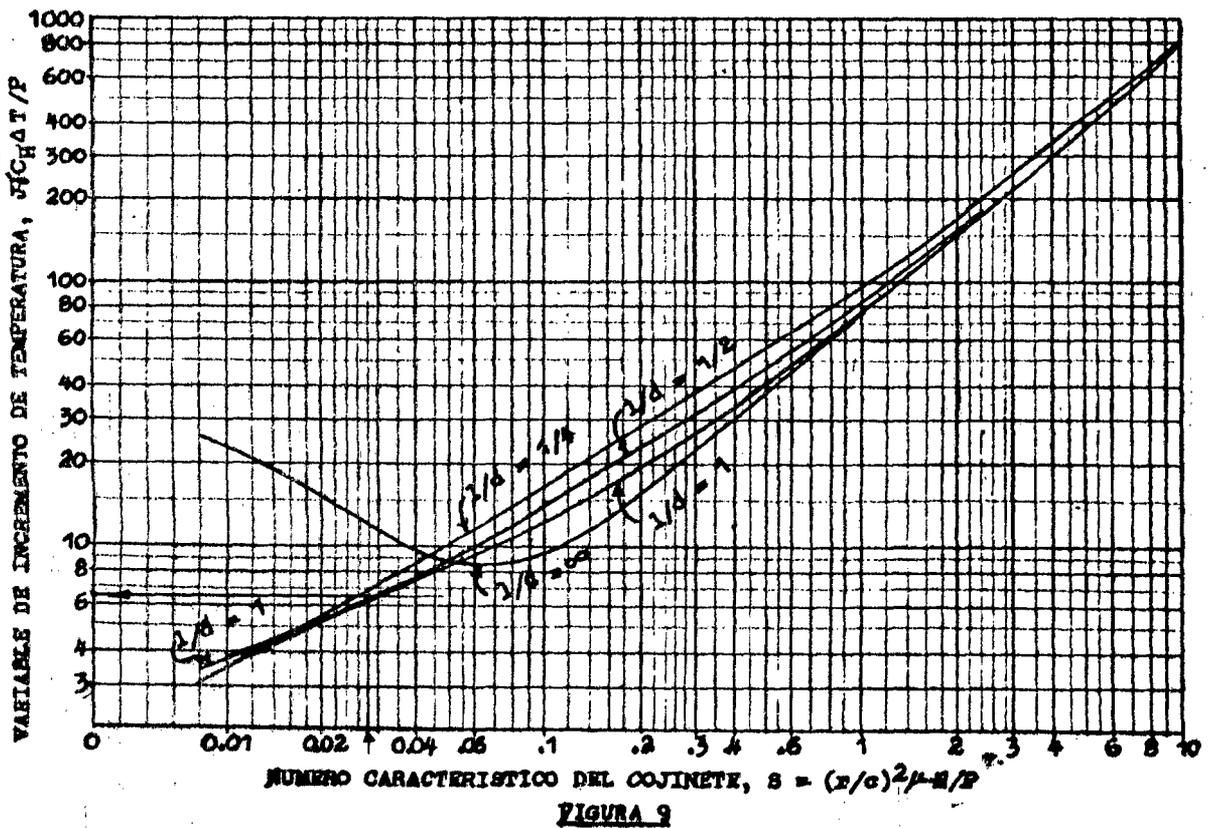
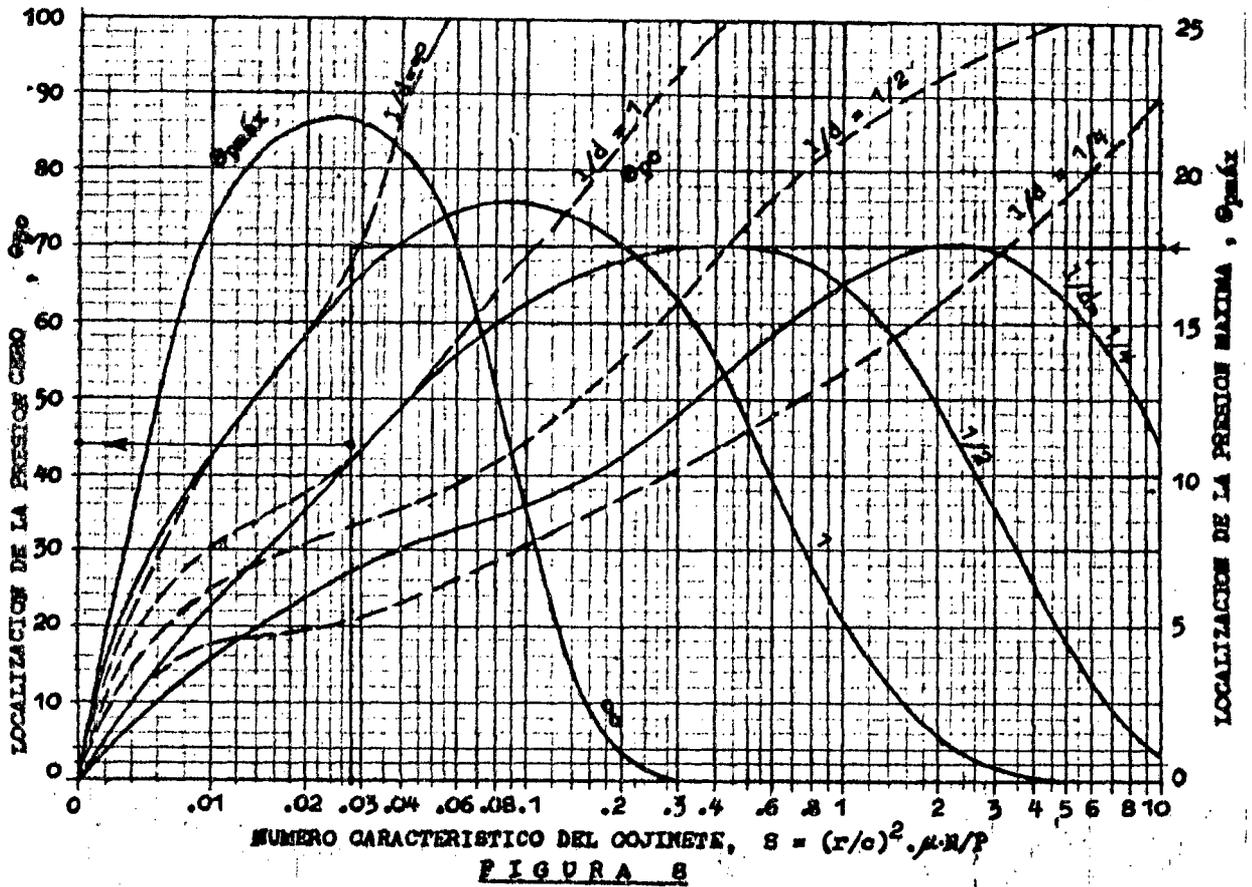


FIGURA 7



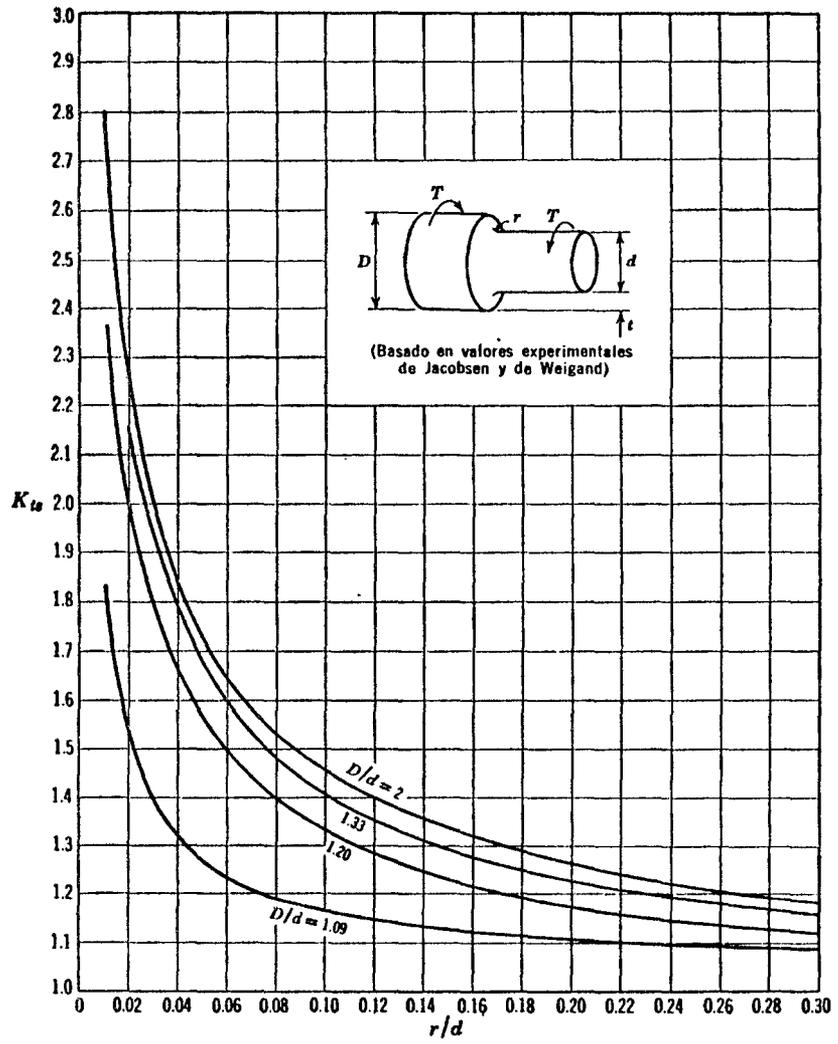


Fig. 4.19. Factores de concentración de esfuerzo para una flecha con un hombro con filete trabajando a torsión. (De acuerdo con Peterson.)

TÓPICOS GENERALES

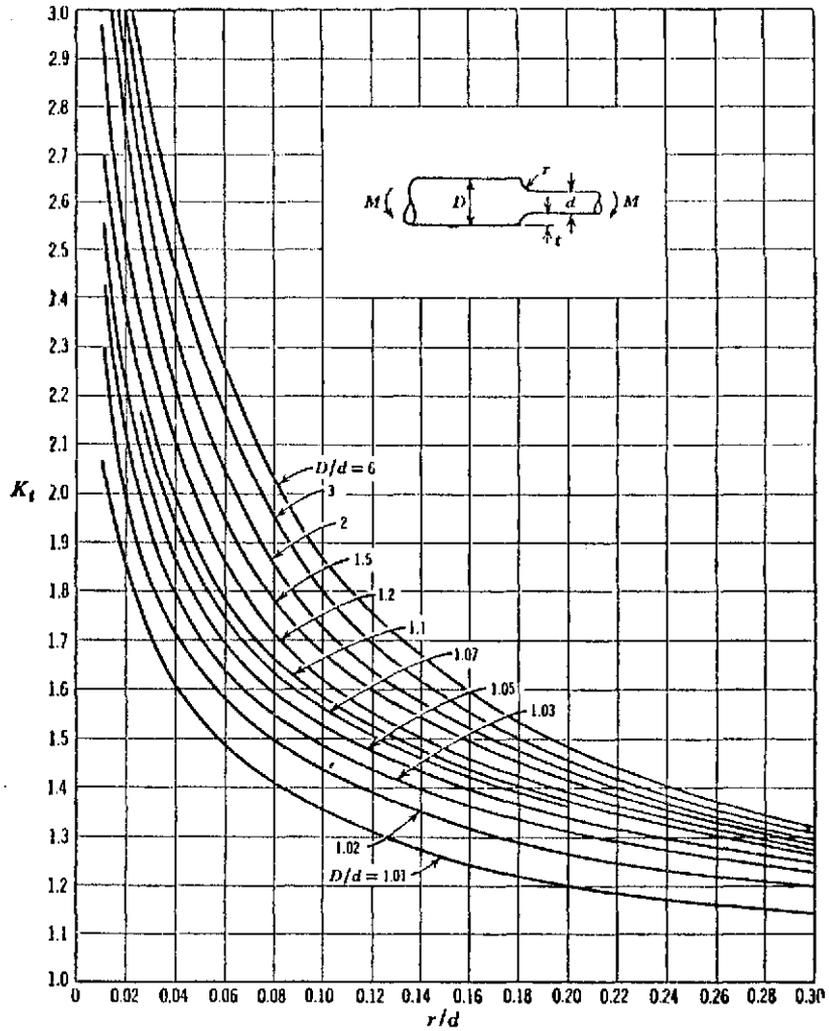


Fig. 4.18. Factores de concentración de esfuerzo para una flecha con un hombro con filete trabajando a flexión. (De acuerdo con Peterson.)

B I B L I O G R A F I A

- HUGOT EMILE - Manual del Ingeniero Azucarero, Mexico, D.F. - CIA. Editorial Continental S.A. - 1963.
- GEOFFROY, RAYMOND - Maquinaria Azucarera, París, Ed. Labourer, 1960
- DUBOURG J. - Maquinaria Azucarera, París, Ediciones Labourer 1952.
- LOPEZ FERRER - Manual Práctico de Maquinaria y Aparatos en los Ingenios Azucareros, La Habana, Ed. cultural - 1949.
- SPENCER - MEADE - Manual del Asúcar de Caña, 9a. Ed., Barcelona, Montaner y Simón S.A., 1967.
- FRIMSEN, GEERLIGS H. Chemical Control in Cane Sugar Factories, London, Norman - Redger, 1917.
- DEER NOEL - Cane Sugar, Inglaterra, 1921.
- TROMP, L. A. - Machinery and Equipment of the Cane Sugar Factories, London, Norman - Redger, 1936.
- MAXWELL FRANCIS - Modern Milling of Sugar Cane, London. Norman - Redger, 1932.
- MORSE, IRWING H. - Calculations used in Cane Sugar Factories (Louisiana), New York, J. Wiley - Sons. Inc., 1917.
- "CECOAP" - Proyecto de Asúcar Selva, Lima, División Técnica, 1974.
- CECOAP - Informe Estadístico de la Producción Azucarera, Lima, División de Estadística, 1977.
- I.N.E. - Estudio Demográfico y Poblacional, Lima, 1980.
- O.S.E. - Producción Azucarera, Lima, Ministerio de Agricultura, 1982.
- SUGAR - AZUCAR(USA) - Revista Trimestral, 1970 - 1982.
- SUGAR - JOURNAL - SJ (USA), Revista Trimestral, 1967 - 1980.
- TECNICOS AZUCAREROS CUBANOS, Boletín Oficial, Publicación Trimestral,

1977 - 1979.

- TECNICOS AZUCAREROS DE HAWAII, Publicación Trimestral, Amsterdam-Elsevier, 1968.
- HANNO SPEICH, BUCCIARELLI, Manual de Oleodinámica, Barcelona, Ed. Gustavo Gili S.A., 1978.
- SPERRY VICKERS - Manual de Oleohidráulica Industrial, Barcelona, Ed. Blume, 1979.
- MALLORQUI, MA JOSE - Tuberias de Acero, Barcelona, Técnicas Asociadas, 1981.
- MARKS, LIONEL - Manual del Ingeniero Mecánico, 8a. Ed., Bogotá, MacGraw - Hill, 1982.
- GEORGEN, KURT - Manual del Ingeniero Técnico, Bilbao, Ed. Urue, 1972.
- HANDEN RICHARD - Piezas Fundidas para Máquinas, Bilbao, Ed. Urue S. A., 1972.
- DECKER, KARL H. - Diseño de Elementos de Máquina, Bilbao, Ed. Urue, S.A., 1982.
- SLAYMAKER R.R. - Diseño de Elementos de Máquina, Mexico, Ed. Limusa - Wiley S.A., 1969.
- M. FAIRMS V. - Diseño de Elementos de Máquina, Barcelona, Maner y Simón S.A. - Editores, 1977.
- SHIGLEY, JOSEPH E. - Diseño en Ingeniería Mecánica, Mexico, McGraw - Hill, 1980.
- CARMICHAEL COLIN - Diseño de Cojinetes y Lubricación, Massachusetts, A. Wesley publishing Co. - 1972.
- CREAMER Robert - Diseño de Máquinas, 2a. edición, Reading Massachusetts, Addison - Wesley publishing Co., 1972.
- MUNDI CRESPO ELOY - Lubricantes y Aplicaciones, Madrid, Intereisa - cia, 1972.
- MANUAL DE ENGRAMAJES- Mexico, CIA. Continental S.A., 1973.
- PREZZANO PASCUAL - Tecnología Mecánica, Bs. As., Ed. Alsina, 1977.