



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



**“EVALUACION Y MODIFICACION DE UN
SISTEMA DE BOMBEO PARA GUARAPO,
EN UN INGENIO AZUCARERO”**

INFORME TECNICO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
Klever Elías Solís Rosado

Guayaquil - Ecuador

1989

AGRADECIMIENTO

Al ING. MANUEL HELGUERO,
Director de Informe Técnico,
por su ayuda y colaboración
para la realización de este
trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES,

A MIS HERMANOS, Y

A MIS SOBRINOS

ING. NELSON CEVALLOS B.
DECANO

ING. MANUEL HELGUERO S.
DIRECTOR DE INFORME

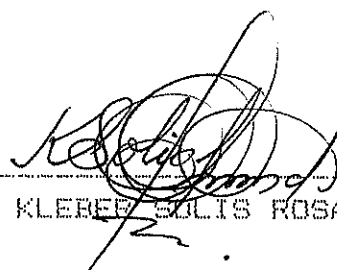
ING. FRANCISCO ANDRADE S.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

"Este Informe Técnico corresponde la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica"

(Reglamento de Graduación mediante la Elaboración de Informes Técnicos).



KLEBER SOLIS ROSADO

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

1. DETERMINACION DE LOS OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

1.2 JUSTIFICACION

1.3 OBJETIVOS

2. ANALISIS DEL SISTEMA EXISTENTE

2.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

2.2 CALCULOS DE LOS PARAMETROS DE BOMBEO DEL SISTEMA
DE GUARAPO CALADO

2.3 ANALISIS DEL SISTEMA INSTALADO

2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

3. REDISEÑO DEL SISTEMA

3.1 MODIFICACIONES A REALIZARSE EN EL SISTEMA

3.2 IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

3.3 ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

- FIG.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO DE AZUCAR
- FIG.2.2 DIAGRAMA DEL EQUIPO UTILIZADO PARA CALENTAR EL GUARAPO
- FIG.2.3 (a) BOMBA PRINCIPAL; MODELO 3405
(b) IMPULSOR DE LA BOMBA PRINCIPAL, MODELO 3405
- FIG.2.4 (a) BOMBA AUXILIAR; MODELO K 5/4
(b) IMPULSOR DE LA BOMBA AUXILIAR, K 5/4
- FIG.2.5 (a) BATERIAS DE CALENTADORES PRIMARIOS
(b) BATERIA DE CALENTADORES PRIMARIOS (OTRA VISTA)
- FIG 2.6 BATERIA DE CALENTADORES SECUNDARIOS
- FIG 2.7 FACTORES DE FRICCION, PARA LADO DE TUBO
- FIG 2.8 CURVA DE TRANSFERENCIA DE CALOR, AGUA EN LOS TUBOS
- FIG 2.9 PERDIDA DE PRESION POR RETORNO, LADO DE TUBOS
- FIG 2.10 ANALOGIA ELECTRICA DE LAS RESISTENCIAS HIDRAULICAS A TRAVES DE LOS CALENTADORES
- FIG 2.11 NOMOGRAMA DE PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA
- FIG 2.12 CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS PRINCIPALES
- FIG 2.13 CARACTERISTICAS DE LA BOMBA AUXILIAR
- FIG 2.14 RELACIONES DEL SISTEMA PARA LAS BOMBAS DE TAMAÑO MAYOR AL REQUERIDO
- FIG.2.15 RELACIONES OPERACIONALES DEL SISTEMA Y LAS BOMBAS
- FIG.2.16 RECIRCULACION O INVERSION DE FLUJO EN EL IMPULSOR: PRODUCE CAVITACION

- FIG.2.17 PATRONES DE FLUJO EN EL IMPULSOR EN CONDICIONES QUE NO SON DE MAXIMA EFICIENCIA
- FIG.2.18 (a) DAÑOS EN LAS CAJAS DE LAS BOMBAS PRINCIPALES
(b) DAÑOS EN LAS CAJAS DE LAS BOMBAS AUXILIARES
- FIG.2.19 (a) IMPULSORES Y FLECHAS DESTRUIDOS
(b) FLECHAS Y MANGUITOS DESTRUIDOS
- FIG.2.20 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DE LA FLECHA EN LA BOMBA PRINCIPAL
- FIG.2.21 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DE LA FLECHA EN LA BOMBA AUXILIAR
- FIG.2.22 REDUCCION DE LA VIDA DE LOS RODAMIENTOS DE LAS BOMBAS
- FIG.2.23 (a) BOMBA NPK 150-400
(b) IMPULSOR DE LA BOMBA
- FIG.2.24 (a) BOMBA COMPLETA
(b) IMPULSOR MONTADO EN LA FLECHA
- FIG.2.25 (a) BOMBA AUXILIAR COMPLETA
(b) IMPULSORES DE LA BOMBA
- FIG.2.26 IMPULSORES DE LAS BOMBAS NUEVAS Y VIEJAS
- FIG.3.1 TANQUE DE ALCALINIZACION CON SUS MODIFICACIONES
- FIG.3.2 DETERMINACION DE LA ALTURA MINIMA DEL LIQUIDO DEL TANQUE
- FIG.3.3 TUBERIA DE SUCCION
- FIG.3.4 CARACTERISTICAS DE LA BOMBA NPK 150-400
- FIG.3.5 CARACTERISTICAS DE LA BOMBA N. 2
- FIG.3.6 CORRECCIONES PARA LAS REDUCCIONES CALCULADAS EN EL DIAMETRO DEL IMPULSOR.

- FIG.3.7 CORRECCIONES PARA LAS REDUCCIONES CALCULADAS DEL
DIAMETRO DEL IMPULSOR
- FIG.3.8 BOMBA N.3, TIPO Y TAMAÑO K 5/4
- FIG.3.9 IMPLEMENTACION PARA LA BOMBA: MODELO NPK 150-400
- FIG.3.10 IMPLEMENTACION PARA LA BOMBA :MODELO 5000
- FIG.3.11 INSTRUMENTO PARA MEDIR: AMPERAJE, VOLTAJE Y
POTENCIA
- FIG.3.12 LECTURA DE LA VELOCIDAD DE LA BOMBA CON UN
TACOMETRO DE PUNTAS.
- FIG.3.13 PLATOS DE DESGASTE DE LA BOMBA DESPUES DE TRES
AÑOS DE FUNCIONAMIENTO
- FIG.3.14 CAJAS DE LA BOMBA MODELO 5000, DESPUES DE TRES
AÑOS DE FUNCIONAMIENTO
- FIG.3.15 PLATO DE DESGASTE DE LAS BOMBAS NPK-150-400
DESPUES DE LOS TRES AÑOS DE FUNCIONAMIENTO
- FIG.3.16 MANGAS DE LAS BOMBAS NPK 150-400; NUEVAS,
REMETALIZADAS Y DESGASTADAS
- FIG.3.17 IMPULSOR DE LA BOMBA NPK 150-400 DESPUES DE TRES
AÑOS DE FUNCIONAMIENTO
- FIG.3.18 IMPULSOR DE LA BOMBA AUXILIAR DESPUES DE TRES
AÑOS DE FUNCIONAMIENTO
- FIG.3.19 VISTA GENERALES DE LAS BOMBAS INSTALADAS
(a) BOMBAS Y TUBERIAS DE SUCCION
(b) BOMBA LISTA PARA TRABAJAR

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	DATOS DE BOMBAS
TABLA 2.2	CALCULO DE LAS PERDIDAS DE PRESION EN LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO
TABLA 2.3	CONDICIONES DE OPERACION DE LAS BOMBAS INSTALADAS
TABLA 2.4	OPERACION NORMAL: A LA MAXIMA EFICIENCIA
TABLA 2.5	OPERACION CON ESTRANGULACION, FIG. 15
TABLA 3.1	CARACTERISTICAS DE LA BOMBA N. 1: MODELO NPK-150-400
TABLA 3.2	CARACTERISTICAS DE LA BOMBA N. 2: MODELO 5000
TABLA 3.3	CORRECCIONES AL DIAMETRO DE LA BOMBA N. 3: MODELO K, 5/4.

RESUMEN

EVALUACION Y MODIFICACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO PARA GUARAPO, EN UN INGENIO AZUCARERO

El sistema objeto de este estudio, existe en los Ingenios azucareros, el guarapo extraído de los molinos es bombeado a un depósito donde se alcaliniza el guarapo. Para bombear este guarapo, se dispone de un grupo de bombas centrífugas que bombean el guarapo a un proceso de calentamiento a través de dos grupos de baterías en serie paralelo de calentadores: Primarios y Secundarios, de donde llega a un tanque de expansión y evaporación donde se eliminan los vapores de la autoevaporación, finalizando aquí el proceso.

La instalación existente presentaba una serie de problemas de operación en las bombas y motores eléctricos: daños prematuros de rodamientos de las bombas, roturas de ejes, picado de impelentes y cajas, daños de anillo de impelentes y de caja; sobrecarga, sobrecalentamiento y quemado de los motores eléctricos lo que ocasionaba un mantenimiento frecuente y paralización del proceso de elaboración en la fábrica por varias horas.

Con estos antecedentes, hice un estudio de los requerimientos reales de flujo, columna requerida y potencia de los motores, para determinar las causas del

mal funcionamiento del sistema.

Como resultado de este estudio encontré que las bombas estaban sobre-dimensionadas lo que obligaba extrangular excesivamente las descargas de las bombas para que éstas puedan trabajar en paralelo y además de fallas de la instalación de tuberías. tomé la decisión de hacer los siguientes correctivos: Modificar las tuberías de succión y descarga de las bombas, el tanque de almacenamiento, cambiar dos de las tres bombas instaladas, modificar el impelente de la tercera bomba, utilizar los mismos motores eléctricos de las bombas anteriores. Además determinar las nuevas características y punto de operación eficiente de las bombas con su respectiva implementación, y por último hacer pruebas para verificar los resultados esperados antes que el sistema entre en operación.

CAPITULO I

DETERMINACION DE LOS OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

El periodo de actividad de los Ingenios Azucareros en el Ecuador, específicamente en el Ingenio Valdez, es desde el mes de Julio a Diciembre, durante estos meses se procesan 1'000.000 de toneladas de caña, producidas en unas quince mil hectáreas. Toda esta caña se procesa con dos grupos de molinos de los que fluye aproximadamente 945.000 m³ de fluido por temporada; este fluido llamado guarapo, es la mezcla del jugo de caña, agua agregada en el proceso de extracción e impurezas; el guarapo es bombeado a las diferentes secciones en un proceso continuo, hasta la obtención de 100.000 toneladas de azúcar blanca.

Muchos de los procesos en la industria azucarera involucran la transportación de líquidos o su transferencia de un nivel de presión o energía estática a otro. La bomba es el medio mecánico para alcanzar este transporte o transferencia y, así se convierte en una parte esencial de todo proceso.

Una parte de este proceso, es denominado la clarificación del jugo, comienza a partir del pesaje

del guarapo proveniente de los molinos. El uso de las bombas en este departamento es imprescindible.

El objeto de la clarificación es separar el jugo del máximo de impurezas en la fase mas temprana posible de la elaboración del jugo. En el procedimiento de clarificación por medio de cal y calentamiento, la cantidad de cal empleada, el método aplicado y la temperatura de calentamiento del jugo varían mucho, pero en general se añade cal para neutralizar los ácidos orgánicos del jugo, y elevando luego la temperatura a 104° C.

Las bombas encontradas en este proceso, accionadas con motores eléctricos, velocidad constante con estrangulación de la línea de descarga como medio práctico de obtener las variaciones de flujo que exige el sistema, estas pequeñas estrangulaciones son necesarias e inevitables.

Entonces, es frecuente encontrar que se adiciona innecesariamente factores de seguridad para flujo, y cabezal extra, con la finalidad de obtener un flujo, sin conocer exactamente las características del sistema, como son pérdidas de fricción en las tuberías, equipos y válvulas. Uno de los principales problemas presentados para bombear el guarapo a unos calentadores de jugo era precisamente el exceso de

estrangulación por el sobredimensionamiento de las bombas al momento de seleccionarlás. La idea era que cualquiera de las bombas estaban en capacidad de manejar todo el fluido, pero se había sobrevalorado el cabezal de descarga del sistema; el problema se complicaba más cuando éstas debían trabajar en paralelo, por la reducción de las capacidades de las bombas que se operaban, lo que obligaba a seguir estrangulando para evitar que las bombas succionen aire y segundo evitar que los motores se sobrecarguen, pues excedía el amperaje de servicio de ellos, y además con un número de resultados desfavorables en las bombas.

No quedaban unidades de reservas lo que obligaba hacer un mantenimiento frecuente de las bombas. Un aumento en las fuerzas radiales en la carcasa con el efecto inmediato de la deflexión del eje, que ocasionaba su ruptura; un rápido desgaste de los anillos de rozamiento, daños de la empaquetadura, pérdidas de presión de bombeo y capacidad; más carga en los rodamientos, lo que ocasionaba la falla de éstos y en ocasiones provocaba la destrucción de los impelentes.

Una elevación en la temperatura de líquido. Como resultado capacidad reducida, la temperatura del líquido se incrementaba lo que contribuía a reducir el cabezal neto positivo de succión disponible,

reduciendo la capacidad de bombeo y aumentando la presión de vaporización, lo que originaba el fenómeno de Cavitación: erosión de los impelentes y vibración por desbalanceamiento.

Recirculación interna. Toda bomba centrífuga que trabaja por debajo de su punto de mejor eficiencia está sometida a una recirculación interna del fluido con daños en las zonas de succión y descarga del impelente. Otros de los daños eran las válvulas de estrangulación; que se erosionaban.

Existían inadecuadas condiciones de succión: Con dimensiones no adecuadas de las tuberías de succión, reductores mal instalados lo que contribuía a la formación de vórtices y bolsas de aire, sobrecalentamiento de la bomba, golpe de ariete y reducción en la vida de las partes; además el nivel y la capacidad del tanque de alcalinización no eran los indicados, lo que producía que se desborde el líquido y en otras ocasiones faltare líquido y las bombas succionaban aire.

Todos estos problemas detectados en el sistema producían la paralización parcial o total del proceso de molienda, sea por falla de operación o daños mecánicos de las bombas, problemas en los motores eléctricos: sobrecargas y calentamiento excesivo. Un recambio de partes como anillos de desgastes, camisas de

- desgaste, impelentes dañados, retenedores, ejes rotos, etc.; en definitiva un elevado costo de mantenimiento y consumo de energía.

1.2 JUSTIFICACION

Los Ingenios Azucareros operan a plena capacidad solamente cuatro a seis meses al año. Durante este periodo, denominado zafra, el tiempo debe ser aprovechado al máximo con la finalidad de procesar toda la caña de azúcar disponible. Entonces los objetivos del Departamento de Mantenimiento son los de lograr reducir las pérdidas de tiempo originado por fallas de operación del equipo, los gastos de mantenimiento y de energía que utiliza la maquinaria en funcionamiento.

La revisión de los procesos, en cualquier industria con el cometido de bajar costos está justificada desde todo punto de vista. La crisis energética y económica actual está creando nuevas avenidas de conservación y ahorro de energía, y se expande la conciencia de costos para obtener una mejor eficiencia con un menor gasto de recursos para obtener un producto específico.

La situación de la industria azucarera sin duda es aún más delicada por los altos costos de producción,

esta adversidad constituye un reto y es lo que nos motiva a identificar los problemas que están en contra de la producción, estudiarlos, enfocar soluciones con objetivos reales a corto plazo, e insistir en disminuir al máximo el costo del control y operación, son otras las justificaciones para el desarrollo de este trabajo. Y, las operaciones deben ser continuas en aquellas etapas donde el uso de equipo, materiales y personal pueden reducirse a una dimensión de valores de conversión en la producción por unidad aceptable. Los costos de energía han subido rápidamente, que aún pequeños ahorros de energía resultan en sustanciales beneficios.

A continuación se indica los consumos de energía del sistema que se proyectó y el sistema instalado, para 150 días de operación al año, 20 horas de servicio diario promedio.

CONSUMO DE POTENCIA DEL SISTEMA PROYECTADO

BOMBA A: $135 \text{ HP} \times 0.745 \text{ KW/HP} \times 150 \text{ ds} \times 10 \text{ hs} =$
150862,5 kw

BOMBA B: $135 \text{ HP} \times 0,745 \text{ Kw/hP} \times 150 \text{ ds} \times 10 \text{ hs} =$
150862,5 Kw

BOMBA C: $60 \text{ HP} \times 0.745 \text{ Kw} \times 150 \text{ ds} \times 5 \text{ hs} =$
335250 Kw

TOTAL DE CONSUMO AL AÑO: 335250 KW

CONSUMO DE SISTEMA FUNCIONANDO

BOMBA A : $140 \text{ HP} \times 0,745 \text{ Kw/HP} \times 150 \text{ ds} \times 15 \text{ hs} =$
234675 Kw

BOMBA B : $140 \text{ HP} \times 0,745 \text{ Kw/HP} \times 150 \text{ ds} \times 15 \text{ hs} =$
234675 Kw

BOMBA C : $70 \text{ HP} \times 0,745 \text{ Kw/HP} \times 150 \text{ ds} \times 10 \text{ hs} =$
78225 Kw

TOTAL DE CONSUMO AL AÑO : 547575 KW

DIFERENCIA DEL CONSUMO ANUAL: 212325 KW

El rubro por exceso de consumo de potencia debido a la estrangulación de las bombas representa el 63% más de el proyectado, que traducidos en sures representa mucho dinero sin considerar los otros valores por daños en las bombas y paradas del proceso.

Cabe indicar que con la finalidad de tener una bomba de reserva, se instaló una cuarta bomba de 6,43 m³/hora, accionado con un motor de C.A. de 110 Kw.

1.3 OBJETIVOS

- Obtener un funcionamiento eficiente y económico

del sistema

- Reducir los tiempos de paradas del proceso por fallas del sistema
- Reducir los costos de mantenimiento
- Reducir el consumo de energía eléctrica
- Usar la menor cantidad de bombas para la operación del sistema.

CAPITULO II

ANALISIS DEL SISTEMA EXISTENTE

2.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

Para fines ilustrativos y de localización del sistema de nuestro interés, en la figura N° 1, se muestra el diagrama de bloque del proceso de azúcar, en el Ingenio Valdez, de la ciudad de Milagro.

La sección encerrada con líneas cortadas, es la denominada "CLARIFICACION DEL JUGO", incluye el departamento de pesaje de guarapo de los molinos. El objeto de la clarificación es separar del jugo el máximo de impurezas, en la fase más temprana posible, por medio de cal y calentamiento, la cantidad de cal empleada, el método de aplicarla y la temperatura de calentamiento del guarapo varían mucho según las condiciones y las localidades, pero en general, se añade suficiente cal para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el jugo, elevando luego la temperatura a 104.4° C.

El tratamiento por medio de cal y calor produce un precipitado de composición compleja, que contiene sales cálcicas insolubles, albúmina coagulada y distintas cantidades de grasas, ceras y gomas, que

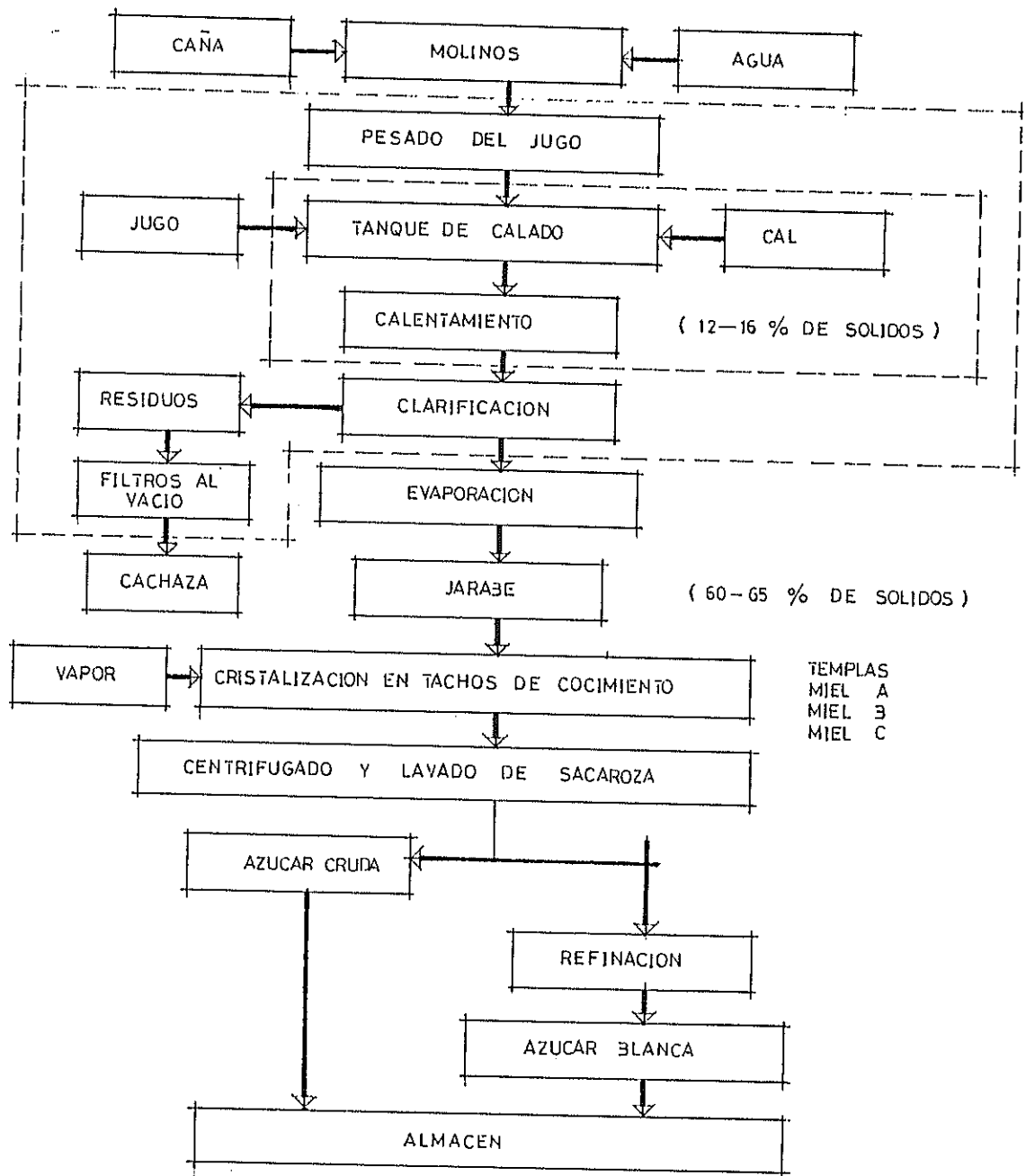


Fig. 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO DE AZUCAR

son separadas en unos equipos denominados clarificadores. Esta separación se debe efectuar tan completa y rápidamente posible, para conseguir este propósito, se efectúan algunas fases previas como:

SULFITACION.— En este proceso, se agrega al jugo ácido sulfuroso, SO_2 , para: (1) Eliminar las materias colorantes, (2) Eliminar y transformar los compuestos ferrosos incoloros, las sales ferrosas que se forman por el contacto del guarapo con los tanques, tuberías, molinos.

En general, cuando se sulfita el guarapo, a un pH 3,8 se consumen de 0.25 a 0.50 kilos de azufre por 1000 kilos de caña.

ALCALINIZACION.— Este es un proceso continuo: Un chorro de lechada de cal, por un lado y un chorro de guarapo sulfitado por el otro caen en un tanque, donde se agita la mezcla. Este proceso es controlado automáticamente con un control de pH, agregándose 0.9 kilos de cal por 1000 kilos de caña, para obtener un pH 8.5, lo que produce los siguientes resultados: brillantez del jugo, volumen de cachaza, aumento de la pureza del jugo, además se evita la destrucción de la glucosa e inversiones posteriores.

CALENTAMIENTO.— La temperatura a la que se calientan

los jugos durante la clarificación varían, siendo su límite 114.4° C. Por lo general se calientan, hasta el punto de ebullición o más, cuando se calienta hasta el punto de ebullición, se obtiene una decantación más rápida, con cachaza más compacta.

Al terminar el calentamiento, el jugo pasa a un separador de vapor que consiste en un simple vaso, en el que el jugo toma la temperatura de ebullición correspondiente a la presión atmosférica, liberando vapor y gases.

Finalmente, el jugo caliente pasa al proceso de decantación y concentración del jugo clarificado de 55 BRIX de densidad, pH 7.

En el fondo de los clarificadores, se deposita el residuo denominado cachaza, que se envía a unos filtros rotativos al vacío, lo que extraen jugo y éste es enviado al tanque de alcalinización, su volumen se estima en 15% del total de jugo tratado inicialmente.

El equipo utilizado, para el proceso previo a la clarificación y separación de impurezas, es mostrado en la figura # 2, los elementos constitutivos son:

1. Tanque de alcalinización; es un tanque con una capacidad de 25,832 m³, construido de planchas de

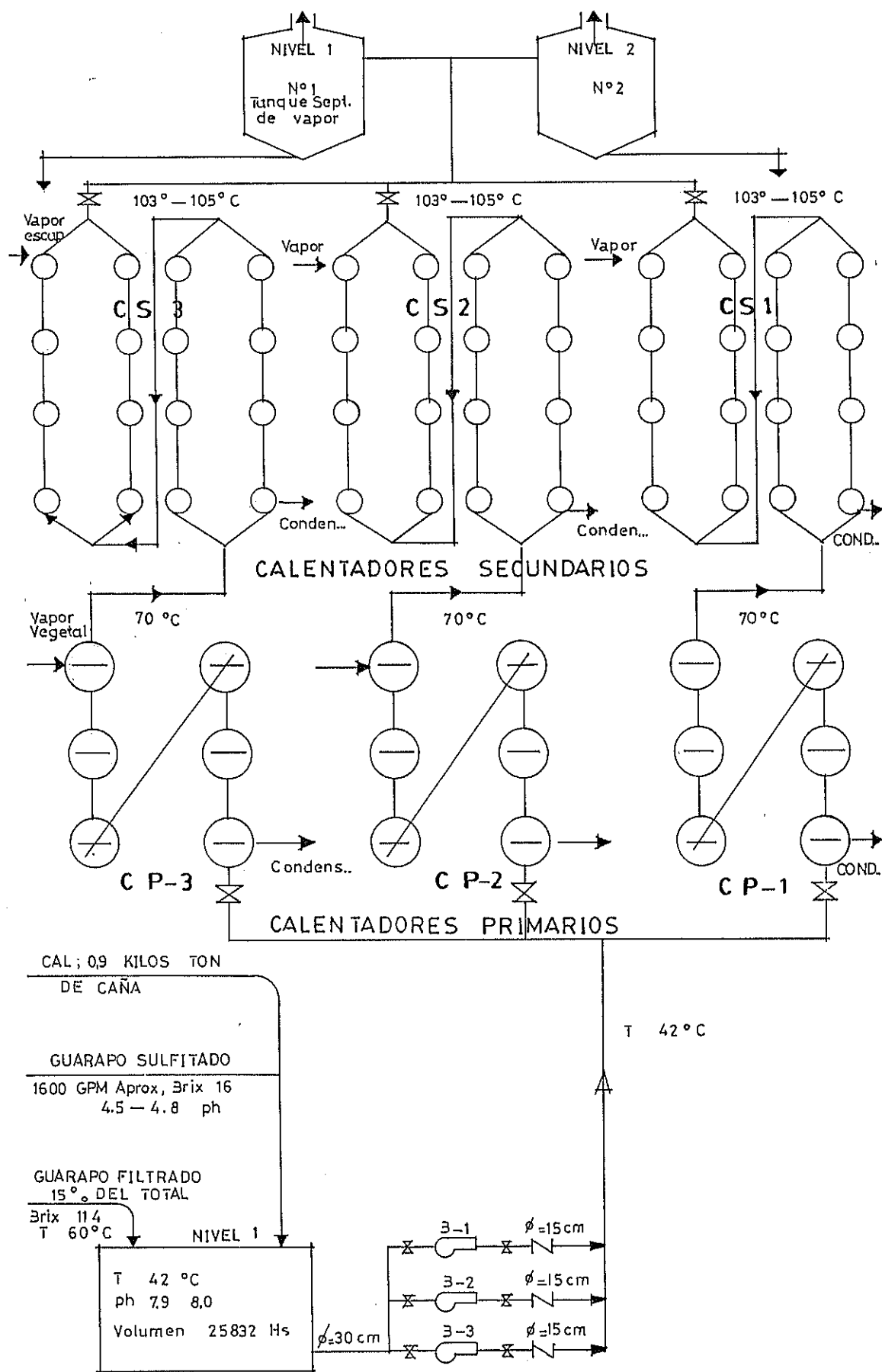


Fig. 2.2 DIAGRAMA DEL EQUIPO UTILIZADO PARA CALENTAR EL GUARAPO

hierro de 12 mm de 2.13 m x 2.45 m x 4,95 m .

Se lo utiliza en la recepción y mezcla del guarapo sulfitado y lechada de cal, y el guarapo recuperado en los filtros al vacío, de este tanque succionan las bombas.

2. Equipo de bombeo.- Se disponen de dos bombas principales de igual modelo y una tercera auxiliar, las que se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente, y sus características específicas se indican en la Tabla # 1.

Para alimentar las bombas, existe una tubería de succión única de 12 " de diámetro desde el tanque de alcalinización, y sus respectivas derivaciones a ellas.

3. Calentadores de guarapo.- Son cambiadores de calor, tipo coraza-tubo, cerrados en sus extremos, coraza de hierro y platos de cobre, éstos soportan numerosos tubos de cobre de 31,75 mm diámetro exterior; 4,8 m de longitud, los que van de un extremo a otro, y por lo que circula guarapo a gran velocidad. Existen dos grupos de calentadores: Calentadores Primarios y Calentadores Secundarios.

a. Calentadores Primarios: Se disponen de tres

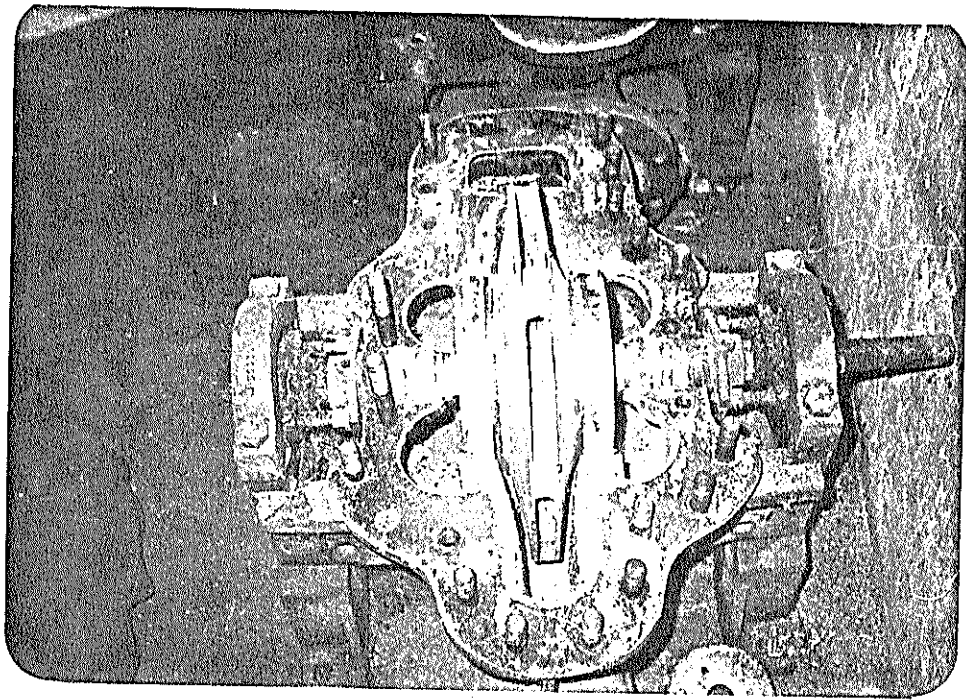


Fig. 2.3 (a) Bomba principal: Modelo 3405

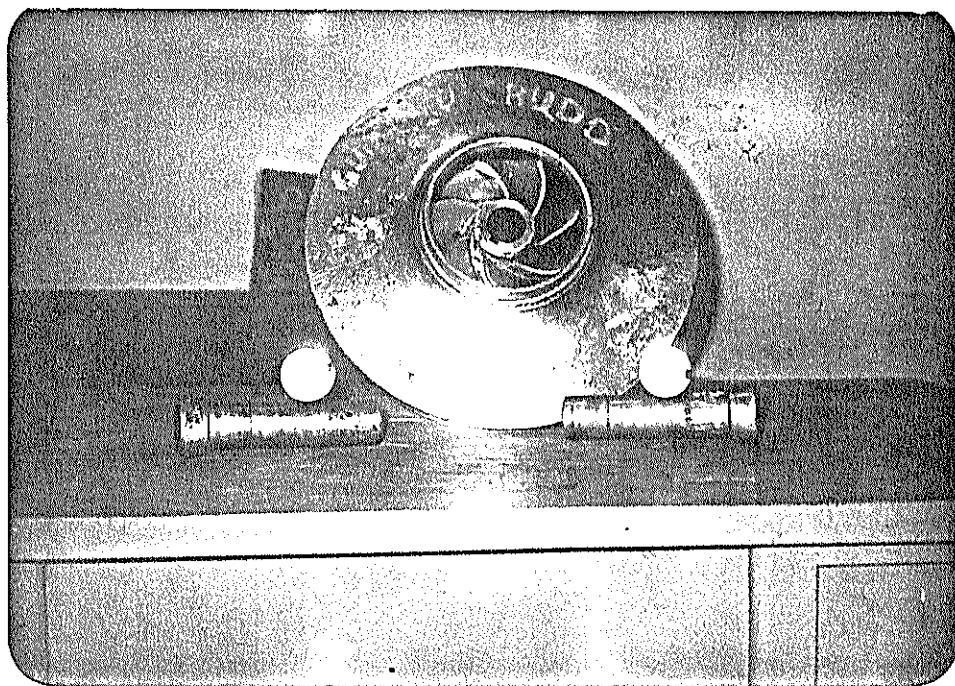


Fig. 2.3 (b) Impulsor de la bomba principal

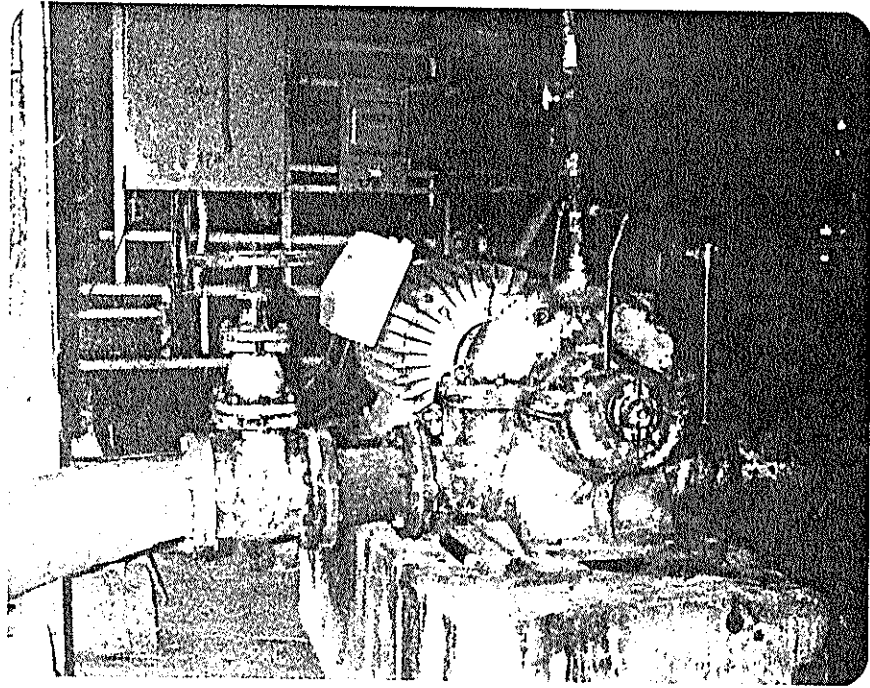


Fig. 2.4 (a) Bomba auxiliar:Modelo K 5/4

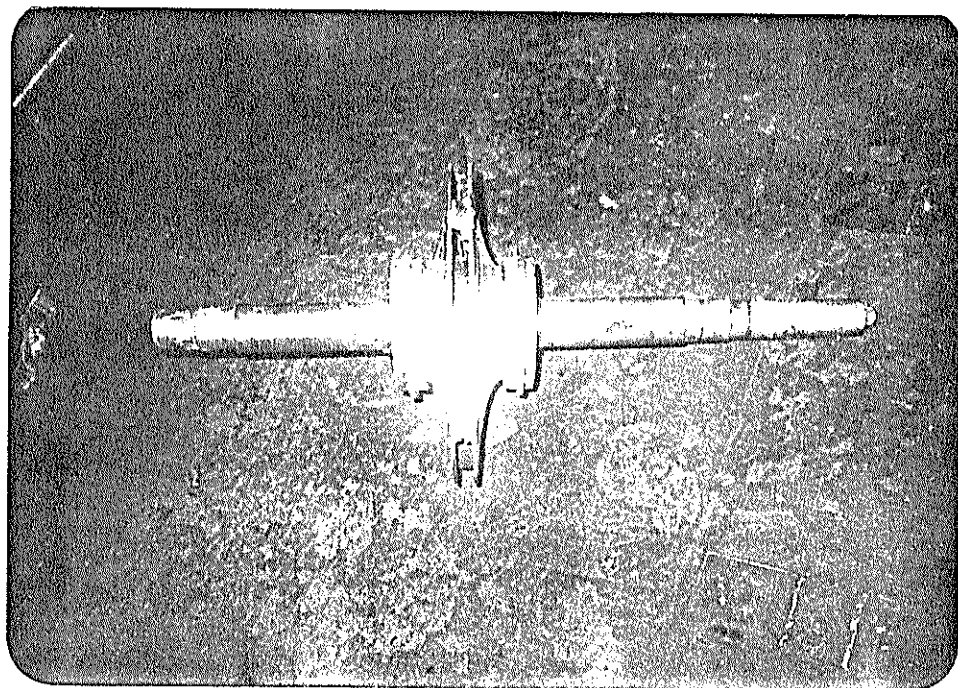


Fig. 2.4 (b) Impulsor de la bomba auxiliar

TARLA 1 DATOS DE BOMBAS

BOMBA	BOMBA PRINCIPAL	BOMBA AUXILIAR
Tipo	Centrifuga	Centrifuga
Cantidad	Dos	Uno
Disposición	Horizontal bipartida	Horizontal bipartida
Succión	Doble	Doble
Número de Impulsores	Uno	Uno
Material del Impulsor	Acero inoxidable	Bronce
Peso del Impulsor	25 kilos	32 kilos
Diámetro del Impulsor	42.55 cm	40.64 cm
Area de Succión	343.2 cm ²	78.7 cm ²
Diámetro de succión	20.32 cm	12.7 cm
Diámetro de descarga	15.24 cm	10.16 cm
Tipo de transmisión	Directa, acople flexible	Directa acople flexible
Elemento motriz	Motor eléctrico, c.a. 110(Kw) 1770 RPM, 160 AMP 440 volt., 3 fases, 60 Hz	Motor eléctrico, c.a. 56 Kw, 60 Hertz 440 volt. 60 Hz
Máxima eficiencia	82%	75%
Capacidad	1750 GPM	850 GPM
Caberal de descarga	76.2 metros	73.17 metros
Potencia	110 Kw	55 Kw
Modelo	Gould, 3405	De Laval K 5/4, PW-452
Rodamientos	2, SKF 3207 1, SKF 6207	2, SKF 3210 1, SKF 6210

baterías, de las cuales funcionan dos y la tercera queda como unidad de reserva. Cada batería consta de 6 cambiadores conectados en serie, estos cambiadores son de dos pasos por los que circula el guarapo y un paso de vapor que circula por la región anular.

- b. Calentadores Secundarios.— Estos calentadores reciben el guarapo calentado de las baterías primarias correspondientes; cada batería está constituida por 16 cambiadores de tubo-coraza, de un solo paso por los tubos y uno por la región anular. Estos calentadores están arreglados en paralelo donde cada serie tiene 8 unidades, a su vez estas 8 unidades están agrupadas en paralelo, en dos grupos de 4 unidades.

Se requiere aproximadamente un pie cuadrado de superficie calórica por tonelada de caña. En estos aparatos, utilizan vapor de los evaporadores y la temperatura del jugo se eleva hasta el punto de ebullición o ligeramente mayor.

Los calentadores mencionados se muestran en las figuras 5 y 6 respectivamente.

4. Tanque Separador de Vapor.— Son tanque que se

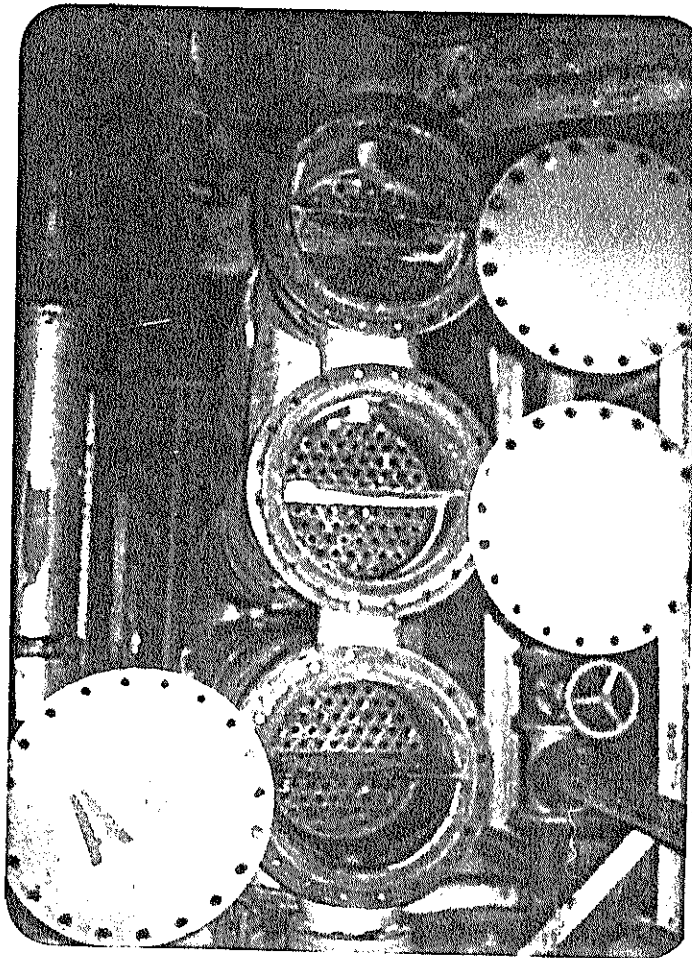


Fig. 2.5 Baterías de calentadores primarios

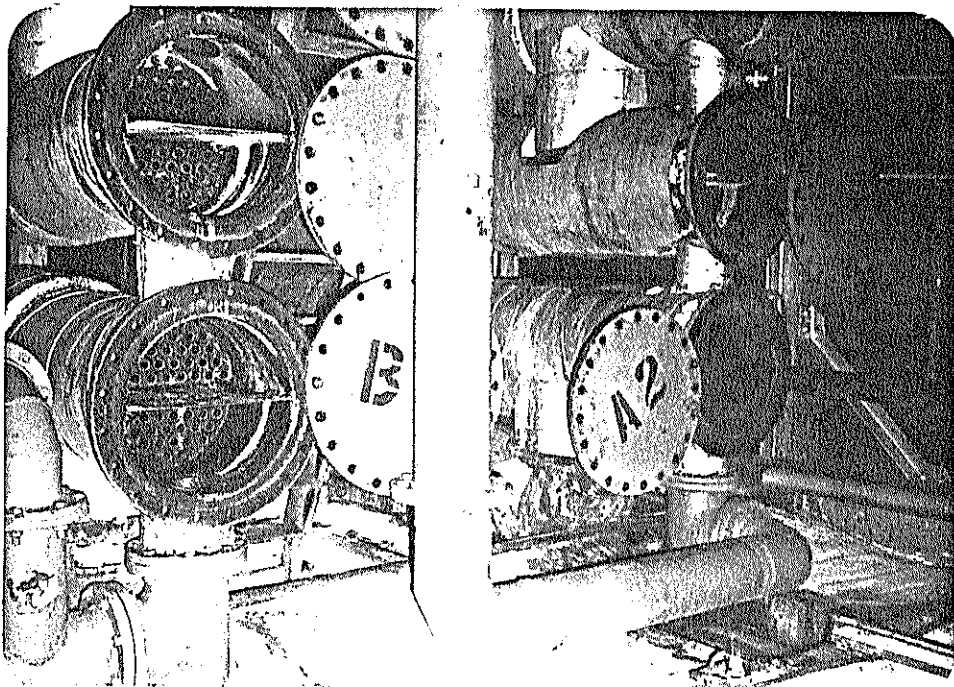


Fig. 2.5 Batería de calentadores primarios

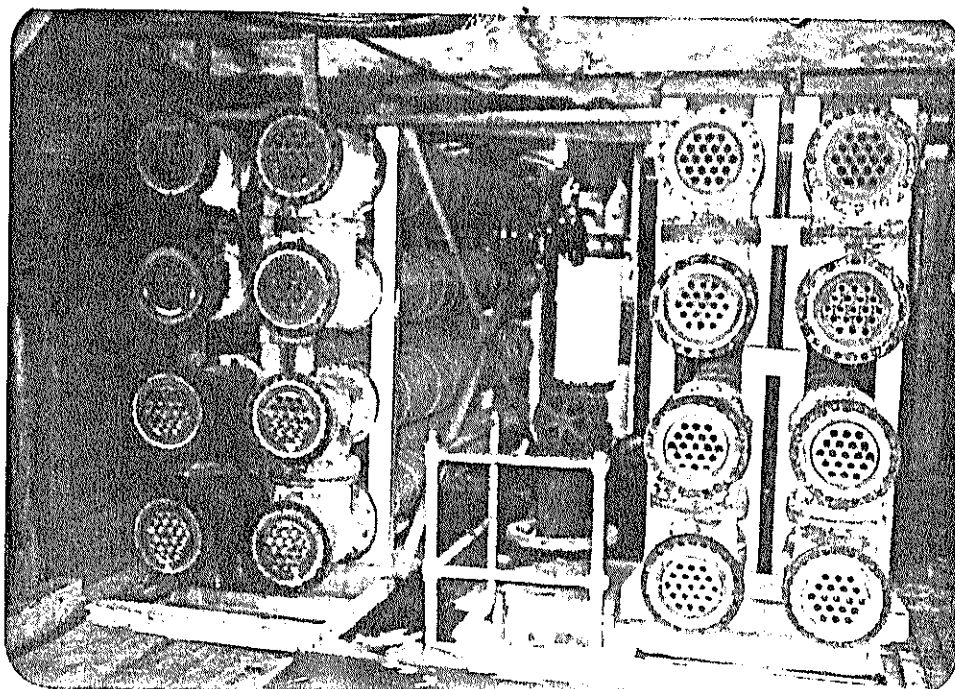
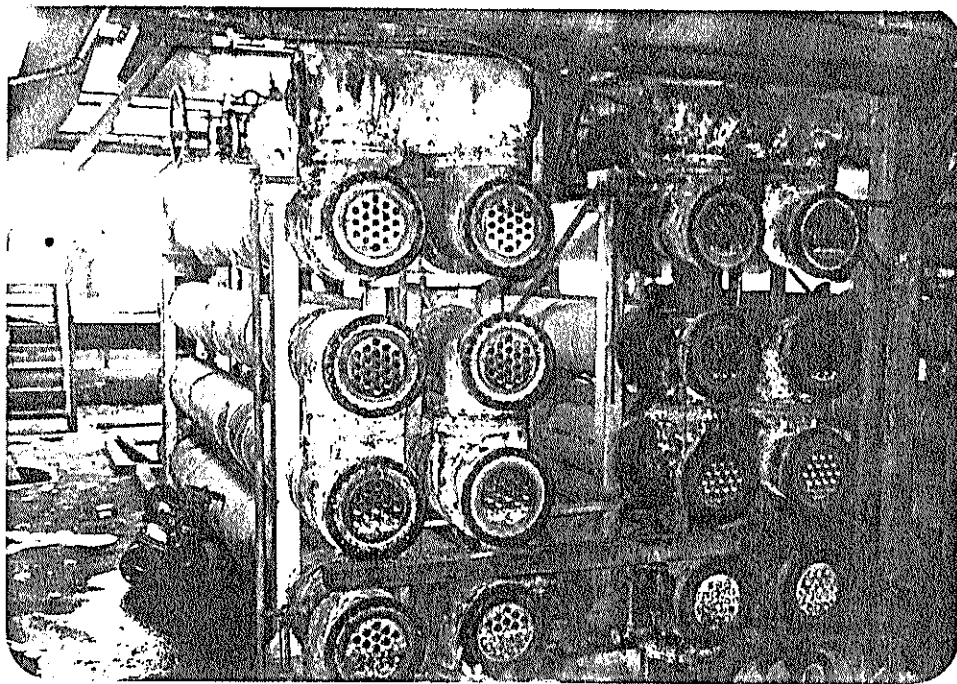


Fig. 2.6 Bateria de calentadores secundarios

ubican a la salida de los calentadores secundarios, en los cuales el guarapo vuelve a tomar la temperatura de ebullición correspondiente a la presión atmosférica.

2.2 CALCULOS DE LOS PARAMETROS DE BOMBEO DEL SISTEMA DE GUARAPO CALADO.

En esta sección se determinará los parámetros requeridos por el sistema, como son el flujo de guarapo y el cabezal dinámico total, NPSH disponible.

1. Determinación del flujo de guarapo.- En la mayoría de los Ingenios Azucareros, la caña de azúcar se tritura en varios juegos de molinos montados en Tandem, al pasar la caña por el primer molino ésta cede el 60% de su peso en jugo primario, es decir más del 50% de la sacarosa contenida en la caña, el residuo leñoso de la molienda es llamado bagazo, y a medida que éste avanza por los molinos, se agrega agua fría o caliente con el objeto de diluir el jugo remanente y aumentar la extracción de la sacarosa del 93 al 95%; el jugo diluido resultante se denomina guarapo que además arrastra pequeñas cantidades de sustancias abrasivas, como : tierra, arenas y cenizas que destruyen los equipos.

La composición del guarapo según Ferkins es:

Agua	77 - 88%
Sacarosa	8 - 21%
Azúcar reductora	0,3 - 3,0%
Otros comp. orgánicos	0,5 - 2,0%
Comp. Inorgánicos	0,2 - 0,6%

El flujo de guarapo se determina de la siguiente manera:

Cantidad de caña, ton/hora	380
Extracción en peso	72
Cantidad de jugo, ton/hora	353.4
Densidad del jugo, BRIX	14.5
Densidad equival. del jugo ton/m ³	1,059
Flujo volumétrico, lts/min	5561,35

A este flujo, hay que agregar, el jugo que retorna de la sección de los filtros al vacío, que se estima un 15% del flujo inicial.

Jugo Clarificado	0.15×5561.35
lts/min	834.27
TOTAL DEL JUGO Lts/Min	6395,27

Siendo ésta la condición promedio, llegando en ocasiones un flujo máximo de 7389.7 lt/min., y de igual forma el flujo mínimo registrado es 3200 lts/min.

2. Cabezal dinámico total (TDH).— A este valor se lo denomina columna del sistema, y es función del flujo, este valor debe ser vencido por las bombas puestas en operación y bombear el guarapo desde el nivel 1 al 2, Fig. Nº 2, esto es:

$$\text{TDH} = h_d - h_s \quad \text{Ec. 1}$$

h_d : columna de descarga
 h_s : columna de succión

$$h_d = z_d + h_{fd} \quad \text{Ec. 2}$$

z_d : columna estática, medida vertical, en metros desde el centro de la bomba al punto de descarga, nivel 2.

h_{fd} : columna de fricción en metros de líquido, columna equivalente necesaria para vencer las resistencias hidráulicas de tuberías, válvulas, equipos de calentamiento, varía

con el flujo.

$$h_s = z_s - h_{fs}$$

Ec. 3

z_s : columna estática, distancia vertical, en metros desde el nivel superior de la superficie del líquido en el tanque al centro de las bombas.

h_{fs} : columna de fricción, cabezal requerido para vencer las resistencias hidráulicas en la tubería y accesorios de la succión, pérdidas de admisión.

Para el cálculo de la caída de presión en los calentadores de guarapo, se aplica las relaciones de Sieder y Tate, tomados del libro: "Procesos de Transferencia de Calor, de Donald O. Kern, que han correlacionado los factores de fricción para fluidos que se calientan o enfrían en tubos. Esas correlaciones están graficadas en forma adimensional en la figura # 7, donde:

$$P_t = \frac{f G_t^2 L_n \times 2.31 \times 10^{-2}}{D_n S \phi_t} \text{ metros} \quad \text{Ec. 4}$$

$$A_t, \text{cm}^2, \text{ Ni } \dot{A}_t/n$$

Ec. 5

$$R_m = D Gt/u$$

Ec. 6

$$Gt = w/at$$

Ec. 7

$$t = (u/u_w)^{0.14}$$

Ec. 8

donde:

c_p , calor específico del guarapo

D , diámetro interior de los tubos, cm

f , factor de fricción, de la Fig. 7

Gt , velocidad de masa, Kg/hr-cm²

g , aceleración de la gravedad, m/seg²

L , longitud de c/tubo, cm

n , números de paso por los tubos

s , gravedad específica

N_i , número de tubos

a_t , área de flujo, por tubo cm²

R_m , número de Reynolds

w , flujo másico, kg/hr

t_m , temp. calórica del guarapo, °C

ó temperatura promedio

u , viscosidad del guarapo, a t

t , temperatura de la pared del tubo, °C

$$t = T_c - \frac{h_{io}}{h_{io} - h_o} (T_c - t_c)$$

Ec. 9

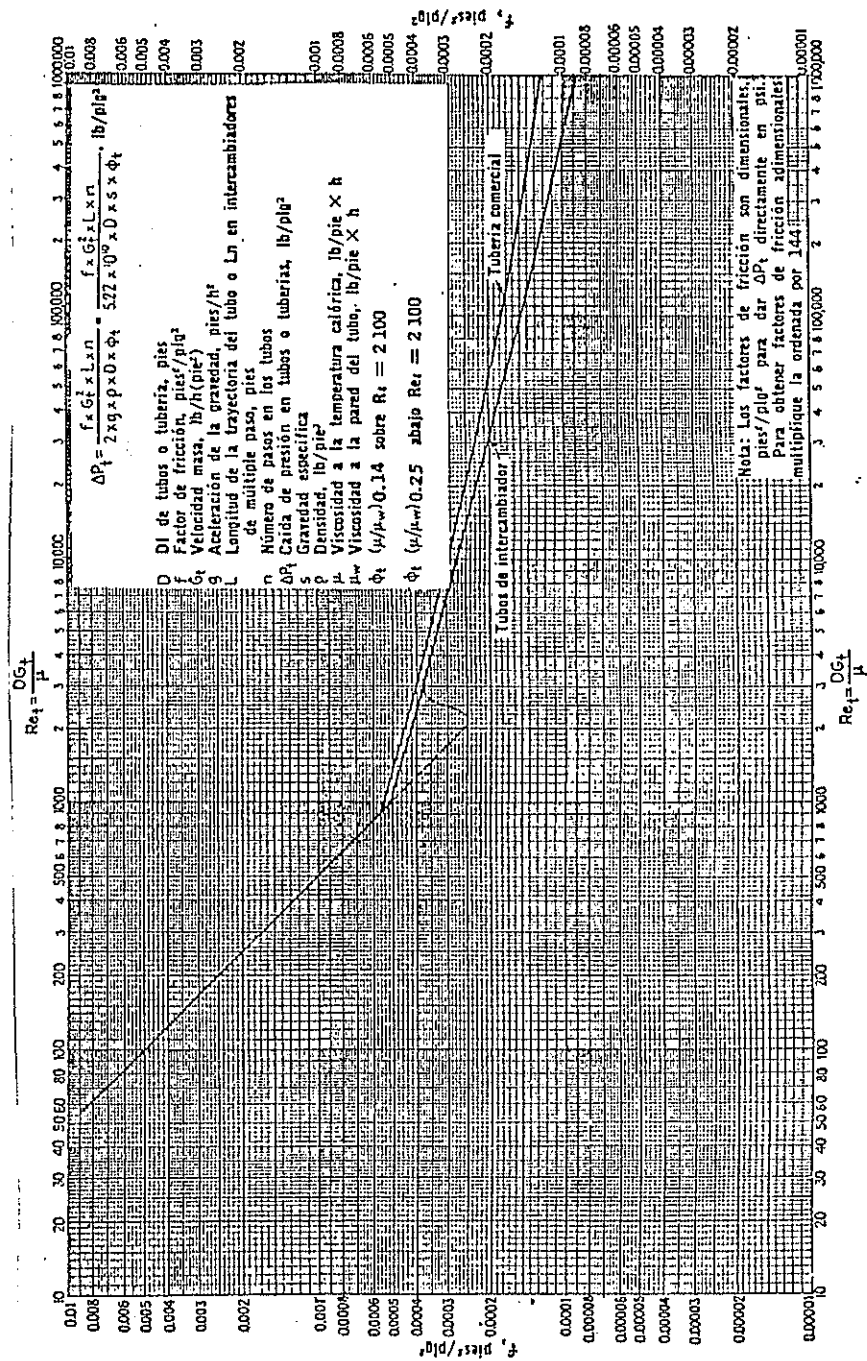


Fig. 2.7 Factores de fricción, para lado de tubo. (Standards Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York,

h_o , coef. de transferencia de calor por convención del vapor saturado condensándose sobre el exterior de los tubos.

h_{io} , coef. de transferencia de calor por convención promedio del guarapo, aproximadamente al agua calculada, con la fig.8 .

Al fluir el guarapo de un paso a otro, el fluido cambia de dirección bruscamente 180°, introduce una caída de presión adicional, P_v , llamada pérdida de retorno. La cabeza de velocidad $V^2/2g$, ha sido graficada en la figura 9, contra la velocidad de masa, para $s=1$ y la pérdida de retorno para cualquier fluido es:

$$P_r = \frac{4n}{s} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

La caída de presión total del lado de los tubos, P_T es:

$$P_T = P_e + P_r \quad \text{Ec. 11}$$

CALCULO DEL CABEZAL DINAMICO TOTAL

1. Columna de descarga; comprende la caída de presión en los calentadores primarios, secundarios, tuberías, accesorios y columna estática.

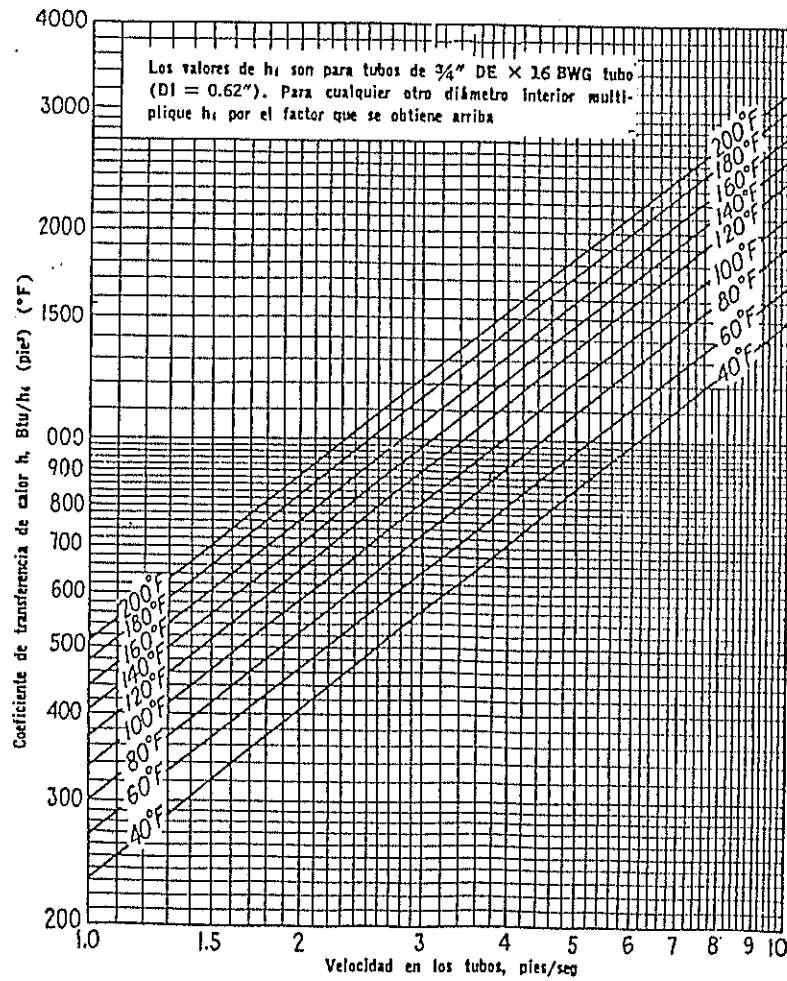
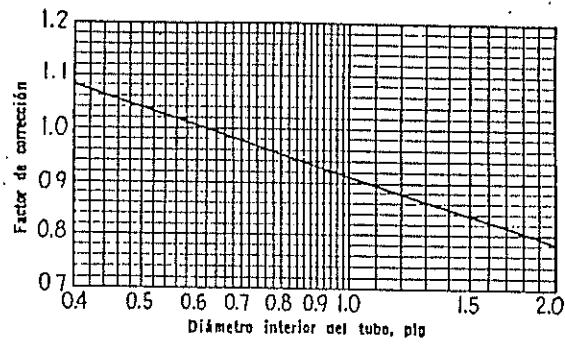


Fig. 2.8 Curva de transferencia de calor, agua en los tubos. [Adaptada de Eagle y Ferguson,

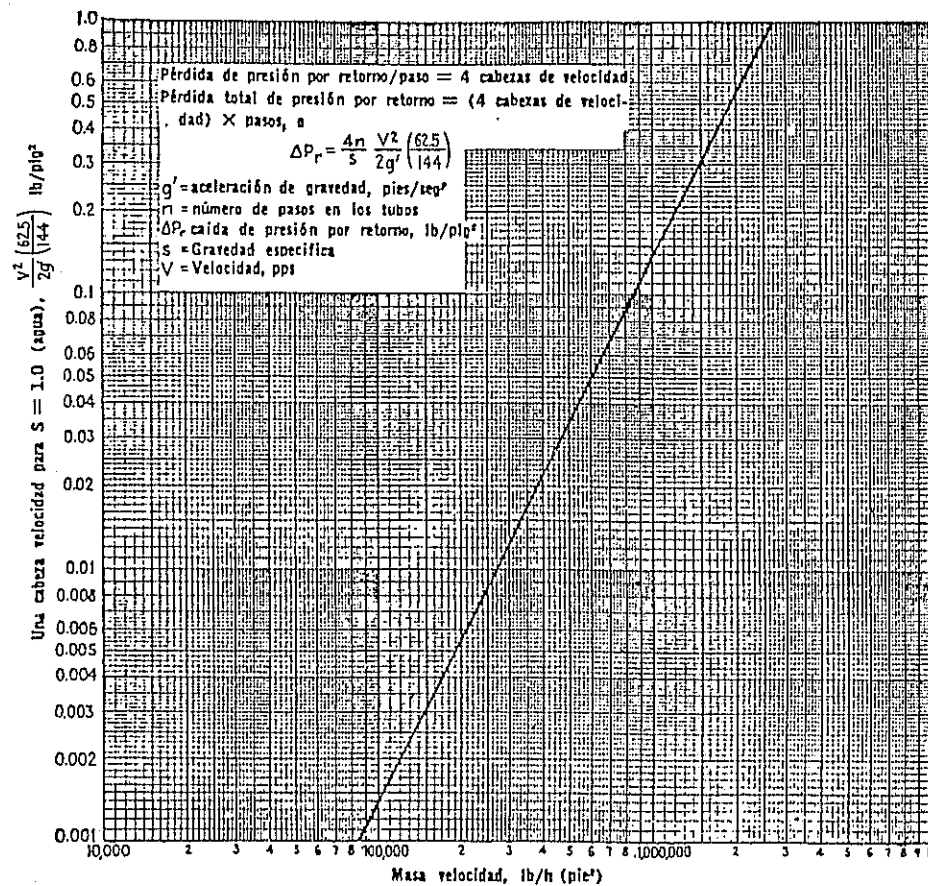


Fig. 2.9 Pérdida de presión por retorno, lado de tubos

Caída de presión en los calentadores primarios y secundarios. Para un flujo máximo de 6395 lts/min, se trabaja con dos baterías de calentadores primarios en paralelo y cada una de ellas entregan a su respectiva batería secundaria como se muestra en la figura # 2. En la figura # 10, se muestra una analogía con la resistencia eléctrica para la determinación de las pérdidas de presión, que es:

$$P_T = 12 R_1 + 11 r_1 + 8 R_2 + 6 r_2 \quad \text{Ec. 12}$$

R_1 y R_2 = Pérdidas por fricción en los tubos

r_1 y r_2 = Pérdidas de retorno

Donde:

R_1 y R_2 son calculadas con la Ec. 4, y r_1 y r_2 son calculadas con la ecuación 10.

Sea:

Números de tubos, N_i	39	BWG, Cobre
Diámetro interior, DI mm	28.7	
Diámetro exterior, DE mm	31.8	
Longitud, L , cm	480	
Area libre, A_t , cm^2	2.26	
Densidad del guarapo, S , Kg/m^3	1059	

Tenemos:

$tc_1 = 56^\circ\text{C}$
 $tc_2 = 87^\circ\text{C}$
 $ho_1 = 1500 \text{ BTU/hr. pie}^2$
 $ho_1 = 1404 \text{ "}$
 $hio_1 = 1258 \text{ "}$
 $hio_2 = 1258$
 $\mu_1 = 0.87 \text{ centipoises}$
 $\mu_2 = 0.50 \text{ centipoises}$
 $tw_1 = 84.4^\circ\text{C}$
 $\mu_w_1 = 0.64 \text{ centipoises}$
 $ho_2 = 1500 \text{ BTU/hr-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$
 $hi_2 = 1980 \text{ "}$
 $hio_2 = 1789 \text{ "}$
 $t_2 = 101.1^\circ\text{C}$
 $\mu_2 = 0.46 \text{ centipoises}$
 $t_1 = 1.044$
 $t_2 = 1.012$
 $at_1 = 88.14 \text{ cm}^2$
 $at_2 = 42.94 \text{ cm}^2$

Con estos valores se encuentran los P_T , para diferentes valores de flujo, que son enlistados en el Tabla N°2.

. Pérdidas por tuberías y accesorios

Se tiene los siguientes accesorios, en el circuito mostrado de la Fig. # 10.

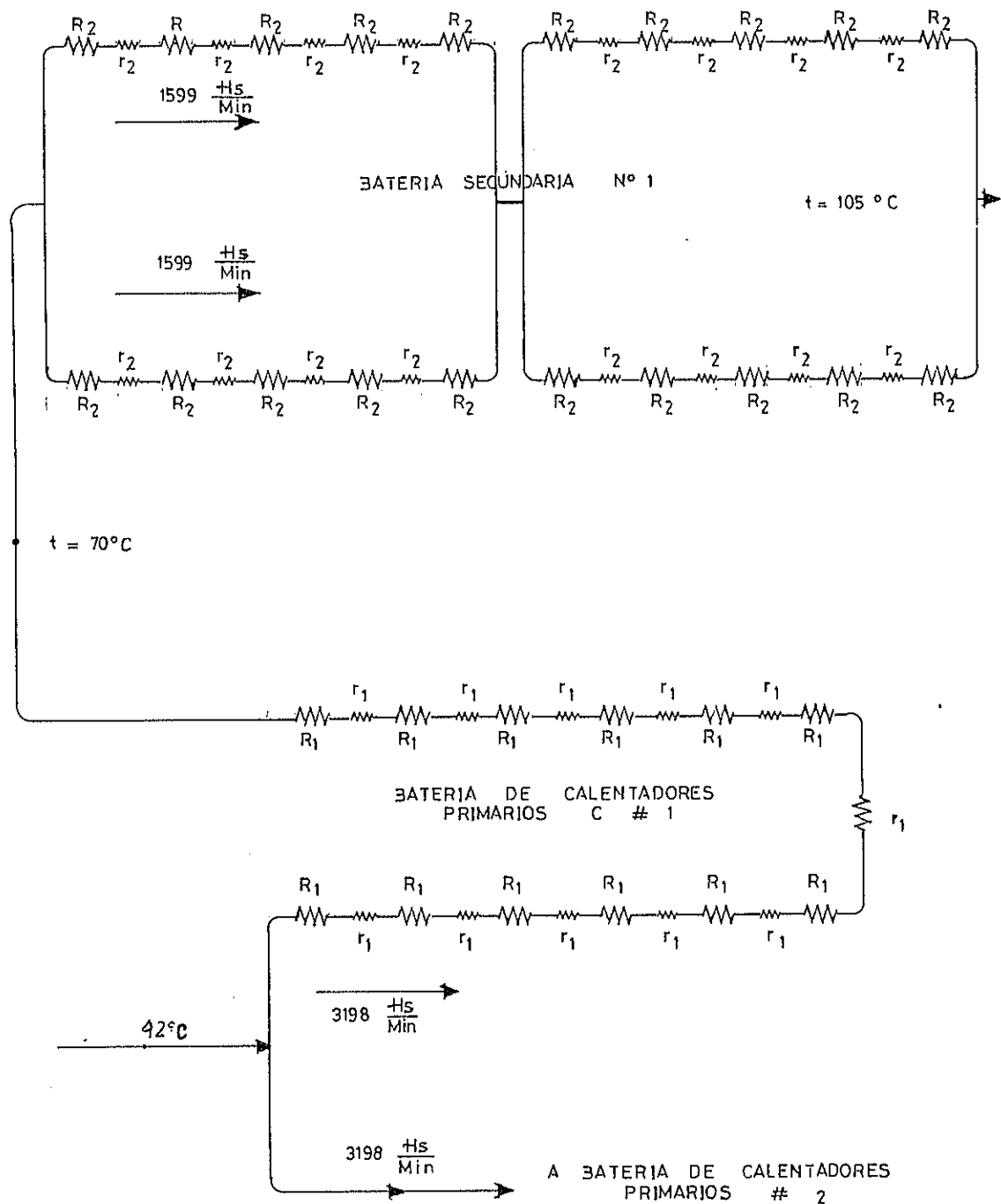


Fig. 2.10

ANALOGIA ELECTRICA DE LAS RESISTENCIAS
HIDRAULICAS A TRAVES DE LOS CALENTADORES

TABLA 2

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE PRESION EN LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO

FLUJO M ³ /min	WT kg/min	WT ₁ kg/min	WT ₂ kg/min	GT ₁ kg/min cm ²	Re ₁	f ₁	V ₁ m/seg	R ₁ Ml	r ₁ Mts	Gt ² kg/min cm ²
(1000 GPM) 1,512	1681.2	800	400	9.1	17385	0.00027	0.49	0.078	0.047	9.32
(3000 GPM) 3,024	3202	1600	800	18.2	34771	0.00022	0.98	0.258	0.134	18.63
(1200 GPM) 4,536	4804	2400	1200	27.2	52156	0.00020	1.46	0.526	0.392	27.95
(1400 GPM) 5,292	5604	2802	1401	31.8	60045	0.000195	1.71	0.700	0.532	32.6
(1600 GPM) 6,048	6405	3203	1601	36.3	67541	0.000190	1.95	0.890	0.690	37.3
(1800 GPM) 6,804	7206	3603	1801	40.9	75234	0.000185	2.2	1.095	0.878	41.9

R_{E2}	f_1	R_2 Mts	r_2 Ml.	Pt Mts.
30920	0.00023	0.073	0.047	2.31
61040	0.00019	0.245	0.107	0.17
92760	0.00018	0.519	0.412	13.37
100220	0.000175	0.765	0.570	23.09
123600	0.00017	0.971	0.740	30.75
139140	0.000165	1.20	1.03	30.57

ACCESORIOS	MEDIDA	CANTIDAD	LONG.EQUIV.	LONG. TOTAL
Codos	15,00 cm	3	3 m	9
	20.3	2	4.2	8.8
	25.5	1	5.3	5.3
TEE	20.3	2	4.2	8.8
	25.5	2	5.2	10.4
VALV.de Comp	15.5	3	1.06	3.3
	20.3	1	1.05	1.5
VALV.Cheque	20.3	1		10
Tuberías	15		15	15.0
	20.3		12	12.0
	25.5		10	10.0

La longitud equivalente han sido tomados de la figura # 11; Monograma de pérdida de carga secundaria de la firma GOULD PUMPS, USA, para líquidos como el agua.

Las pérdidas por accesorios y tuberías, para varios flujos es:

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2} Dg$$

Ec. 13

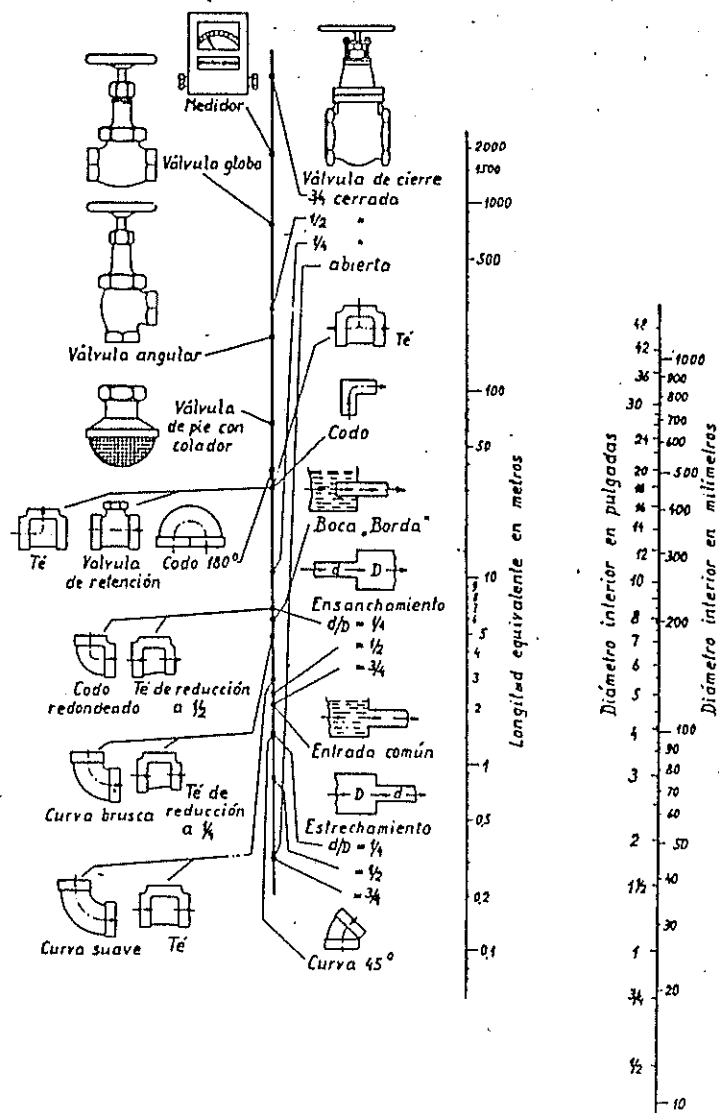


Fig. 2.11 Nomograma de pérdida de carga secundaria

FLUJO	$hf_1(15)$	$hf_2(20.5)$	$hf_2(25.5)$	hf_2
1.512 m ³ /min	0.19 m	39.9 m	—	0.3m
3.024	0.70	0.11	0.09	1.2
4.536	1.53	0.08	0.18	2.6
5.292	2.08	1.18	0.24	3.5
6.098	2.70	1.52	0.31	4.53
6.804	3.40	1.91	0.29	5.70

Los valores de f_1 de fricción son tomados de la Tabla N.2.

COLUMNA ESTATICA.-- Esta columna es medida desde el centro de las bombas y nivel superior del líquido en los tanques de separación de vapor, es

$$h_s = 12 \text{ mts.}$$

En resumen la columna dinámica de descarga h_d , para varios flujos es:

FLUJO (m ³ /min)	hf (mts)	h_d (mts)
1.512	2.61	1.461
3.024	9.37	21.37
4.032	15.97	27.97
5.29	27.39	39.39
6.098	35.28	47.28
6.804	44.27	56.27

2. Columna de Succión.

Columna estática	1.25 m
Pérdida de entrada, d: 20.8 cm (0.5) $V^2/2g$	0.03
Tuberías, d: 20.8 cm, 1, 1.20 m	0.07
d: 25.5 cm, 1, 3 m	0.040
Válvula de comp. de 20.8 cm	0.043
Codo de 25.5 cm x 90°	0.034
Columna de succión máxima	0.763

En resumen, el cabezal dinámico total del sistema, para varios flujos: TDH.

FLUJO m^3/min	$h_d(ms)$	$h_s(ms)$	TDH(ms)
1.513	14.61	1.25	13.36
3.024	21.37	1.25	20.12
4.536	27.97	1.20	26.77
5.292	39.39	1.00	38.39
5.898	47.28	0.763	46.52
6.804	56.27	0.600	55.67

Cálculo de la carga neta positiva de succión disponible:

$$h_{sv} = h_a - h_{vpa} - h_s - h_f$$

h_a . presión absoluta 9.74 m

h_{vpa} . presión de vapor, $T = 42^\circ C$ 1.81 m

hs.	altura de líquido	1.25 m
hf.	pérdidas por fricción	0.45 m
hsv.	8.78 m	

2.3 ANALISIS DEL SISTEMA INSTALADO

El sistema instalado, utiliza dos bombas centrífugas GOULD, modelo 3405, para bombear 6,43 m³/min, cada una de ellas en capacidad de bombear el fluido presente individualmente, además una bomba centrífuga de LAVAL 5/4 , PW-452, considerada como auxiliar para el excedente y operar en paralelo con una de las principales. En las figuras 12 y 13, se muestran las curvas características y puntos de operación a la mejor eficiencia de cada una de ellas.

En la figura 14, se muestra las curvas de columna del sistema, superpuestas sobre las curvas H-Q de las bombas mencionadas. Estas curvas son:

- C₁. Columna - capacidad de las bombas principales
- C₂. Columna - capacidad de la bomba auxiliar
- C₃. Curva de fricción del sistema calculado, con la cual se seleccionó las bombas principales
- C₄. Curva de fricción, encontrado con los datos de la sección anterior

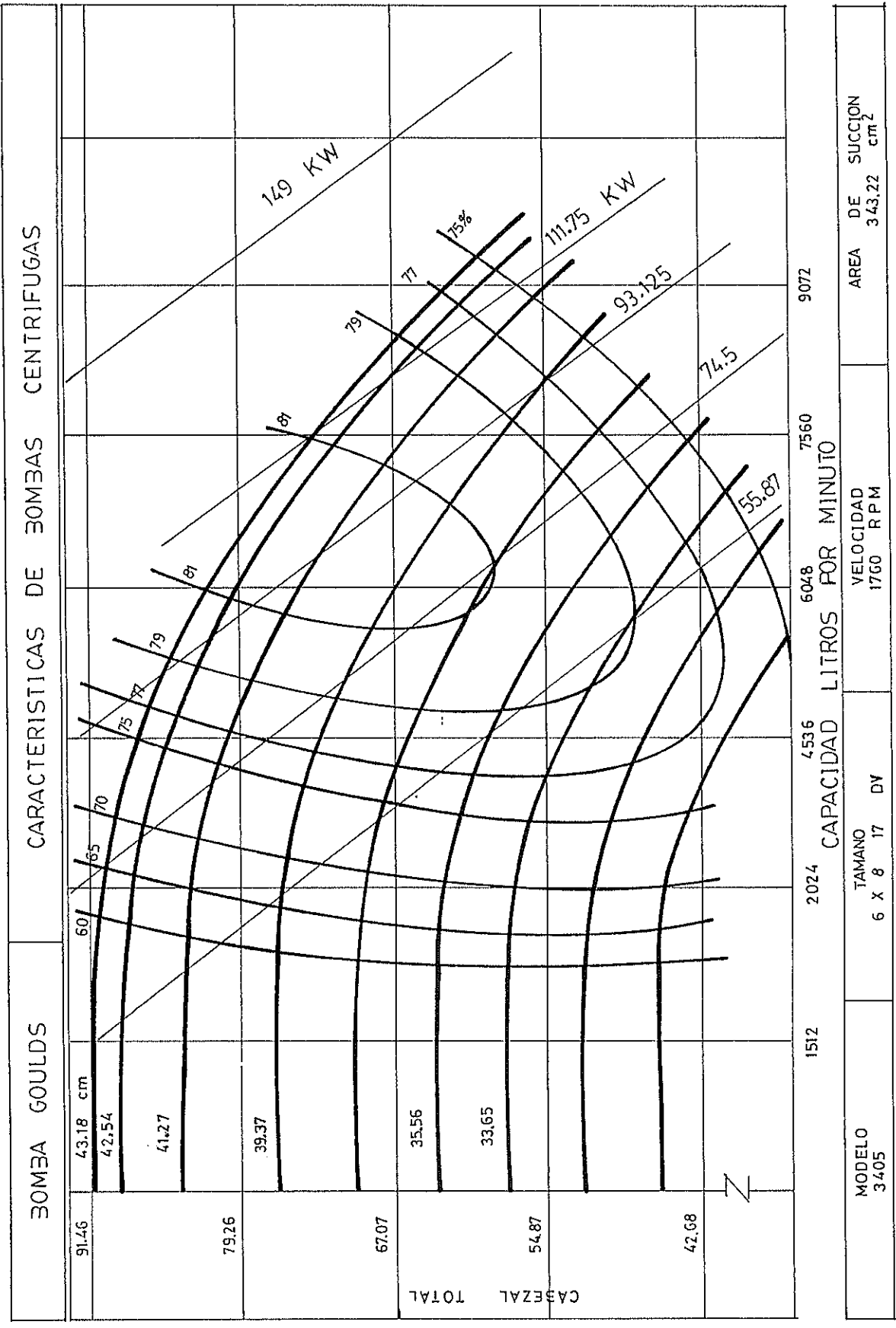
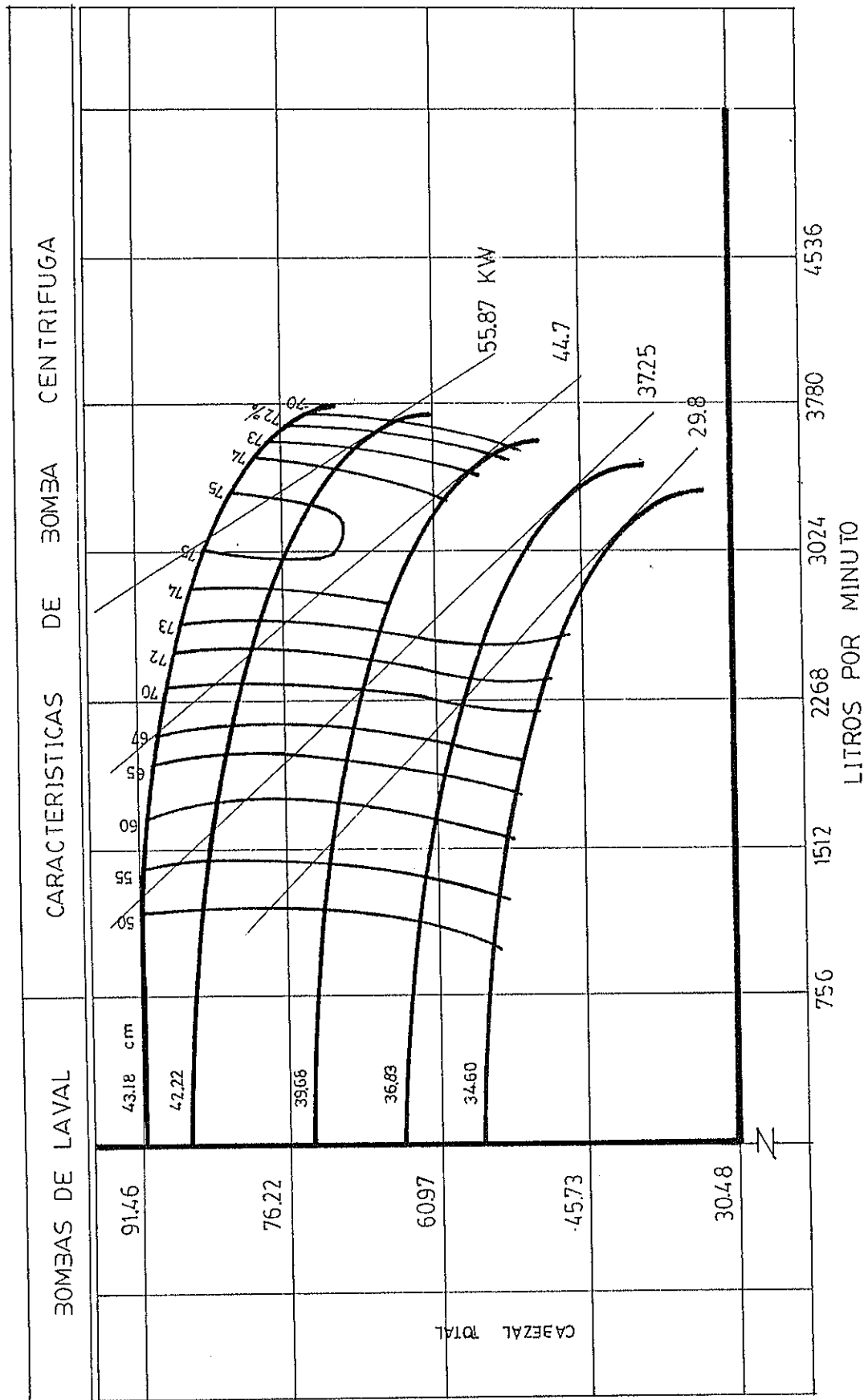


Fig. 2.12 Características de las bombas principales



BOMBAS DE LAVAL		CARACTERISTICAS DE BOMBA CENTRIFUGA			
TIPO Y TAMAÑO DE BOMBA	K 5/4	VELOCIDAD	1760	AREA DE SUCCION	78.70 cm ²
IMPELENTE	TIPO P W — 452				

Fig. 2.13 Características de la bomba auxiliar

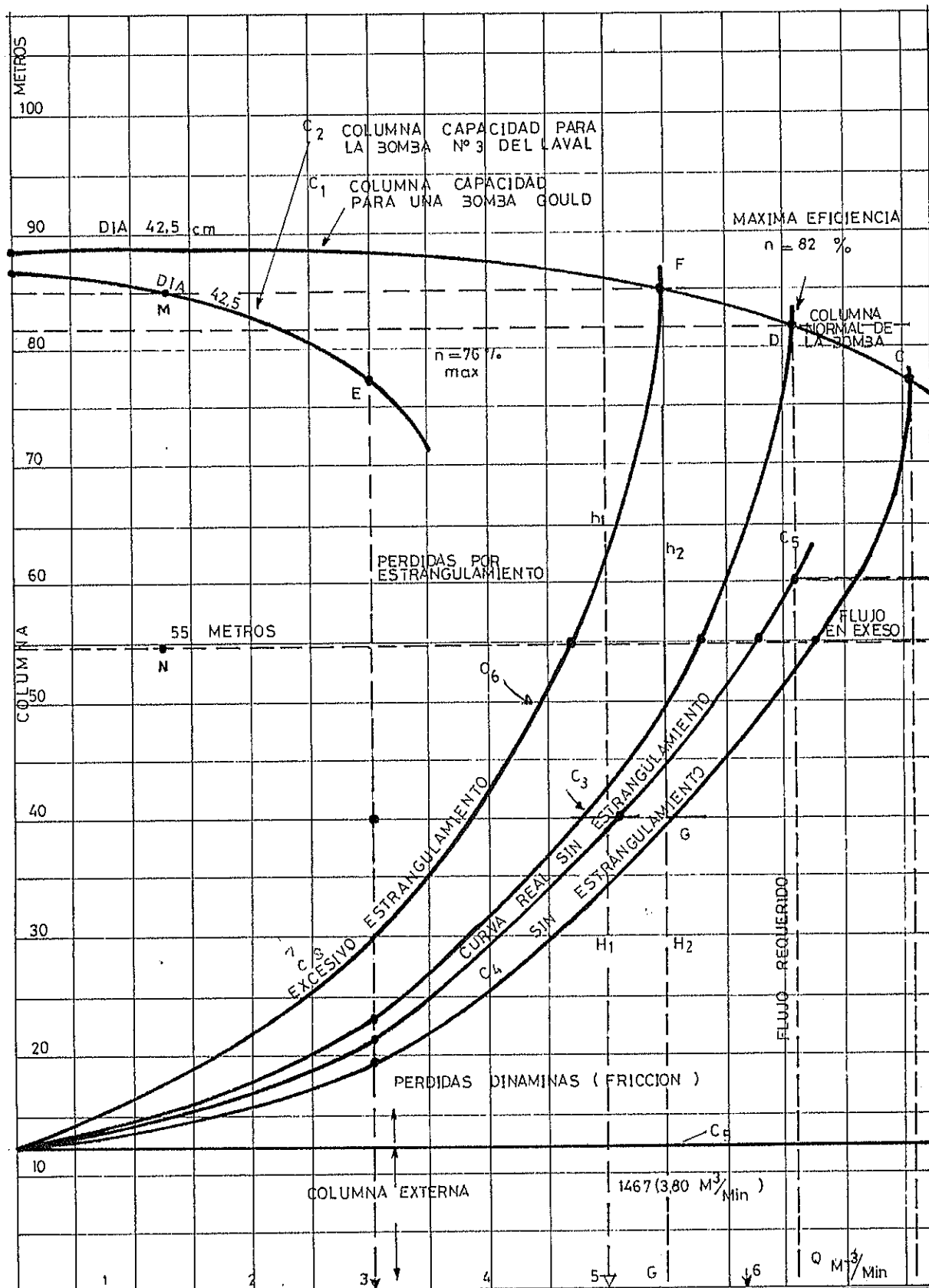


Fig. 2.14 Relaciones del sistema para las bombas de tamaño mayor al requerido

C₅. Columna estática total del sistema.

El punto de operación D, era la supuesta condición de columna-capacidad del sistema funcionando, con una válvula de control en las líneas de descargas de las bombas principales totalmente abiertas, y en el peor de los casos un razonable estrangulamiento, el cual debía desaparecer con el desgaste de las bombas, pero este punto se localiza en C, en el que las bombas desplazan demasiado líquido, y necesita más potencia eléctrica que la existente.

Para desarrollar la capacidad de 3,80 m³/min en el punto F, la válvula de estrangulamiento debe ajustarse hasta que la curva de la columna de sistema sea C₆. Esta cruza la curva C₁ en el punto F, la columna que desarrolla la bomba es, H=80 ms. La columna real requerida para desarrollar esta capacidad en la curva C₄, es de H₁ = 50 ms. En esta condición, la bomba debe disipar una columna igual a H-H₁, igual a 31 ms, esta columna desperdiciada, representa un 39% de la capacidad del motor.

En estas condiciones las bombas principales, no son capaces de bombear el fluido presente, siendo necesario que las bombas trabajen en paralelo. Como resultado, la columna desarrollada en cada bomba se incrementa, siendo necesario más estrangulación, por lo tanto altos costos de energía.

En la figura 15, se ilustra el funcionamiento combinados de las bombas, donde:

- C_1 curva columna - capacidad de la bomba auxiliar
- C_2 curva columna - capacidad de la bomba principal
- C_3 curva combinada de columna-capacidad en paralelo de una bomba principal y la auxiliar, bombas con características diferentes
- C_4 curva combinada de columna-capacidad en paralelo de las bombas principales
- C y B puntos de operación de las bombas en paralelo

Para encontrar la división de carga de las bombas, se determina los puntos de descarga y columna total combinadas en las curvas C_3 y C_4 . se proyecta horizontalmente hacia la izquierda de ellas, interceptando las curvas respectivas de cada bomba en operación, determinando el flujo y columna. Con estos valores se determinan los demás valores de operación de las figuras 12 y 13. Estos valores están resumidos en la Tabla N°3.

Pero, los valores de pérdidas son mayores, por la recirculación interna, ocasionada por la estrangulación. De los resultados de la Tabla No.3, se concluye que las bombas están trabajando en condiciones fuera de diseño.

TABLA 3

PUNTO DE OPERACION B

BOMBA	BOMBA PRINCIPAL	BOMBA AUXILIAR
Capacidad, lts/min	4838	1538
Reducción de capacidad, %	24.7	47.5
Estrangulación, mt.	24.17	14.17
Potencia, Kw	93.75*	37.5*
Eficiencia, %	79.	57
Eficiencia máxima, %	82	76
Capacidad total, lts/min	6426	
Columna, MTS	84.17	
Potencia, Kw	131.25*	
Potencia mínima, Kw	82 (Fig. 12)	
Pérdida de potencia, Kw	49.25	
Columna requerida, MT	60	

PUNTO DE OPERACION: C

Capacidad, lts/min	3213
Reducción de cap., %	58
Estrangulación, MT	28.4
Potencia, Kw	63.75
Eficiencia, %	59
Eficiencia máxima, %	82.
Potencia mínima, Kw	82, Fig. 12
Potencia combinada, Kw	127.5*
Pérdida de Potencia, Kw	45.5
Columna requerida, Mts	60

* Estos valores de potencia son mayores, debido a la recirculación interna.

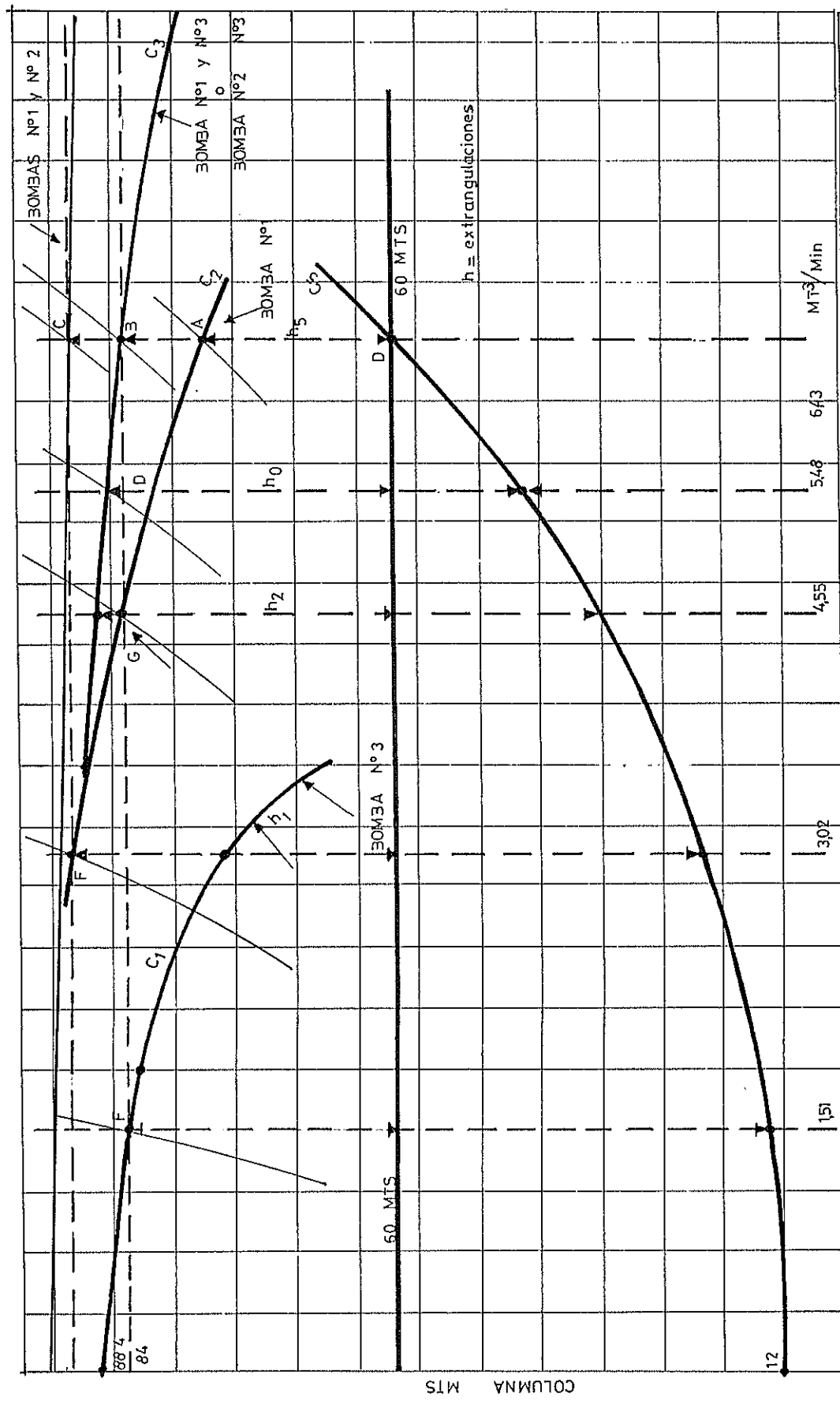


Fig. 2.15 Relaciones Operacionales del sistema y las bombas

Además las bombas están sobredimensionadas, debido a los excesivos márgenes de seguridad para columna. Bajo estas condiciones, la curva columna-capacidad de las bombas interceptan la curva sistema-columna a una capacidad en exceso al flujo requerido, usando exceso de potencia, sobre-cargando los motores eléctricos.

La operación más crítica de las bombas resultan cuando las dos bombas principales trabajan en paralelo, punto C, de la figura 15.

Las bombas centrifugas normalmente se diseñan para operar cerca del punto de máxima eficiencia. Para amplias gamas de capacidades incluyendo el cierre completo por largos períodos de tiempo, requiere de un diseño y construcción especial a mayor costo.

A bajas capacidades se encontraban ruidos, vibración y cavitación. Grandes fuerzas radiales en el eje durante la estrangulación, lo que causa daños y rotura de las flechas, cojinetes, empaquetaduras y anillos de desgaste. A continuación se describen algunos de los fenómenos encontrados con la operación anormal de estas bombas.

Recirculación interna. Cuando la capacidad se ha reducido por la estrangulación a la mitad de la capacidad a la máxima eficiencia hay un flujo secun-

- dario de reducciones mayores se detecta recirculación en los lados de entrada y salida del impelente como se muestra en la Fig. 17. La alta turbulencia y la separación es la que influye en el incremento de potencia que se consume en el cierre, este valor puede llegar alrededor de un 30% de la potencia normal, además origina calentamiento excesivo, vibración y daño del impelente, como se indica en la figura 18.

Aumento de carga radial. La estrangulación contribuye a aumentar la carga radial en el impelente, la flecha y en los rodamientos, disminuyendo la vida de éstos.

Esta fuerza puede calcularse con la siguiente expresión:

$$R = KHD_2 b_2 S \times \frac{0.1}{2.2} \quad (\text{Kg f}) \quad \text{Ec. 14}$$

R carga radial en Kg f

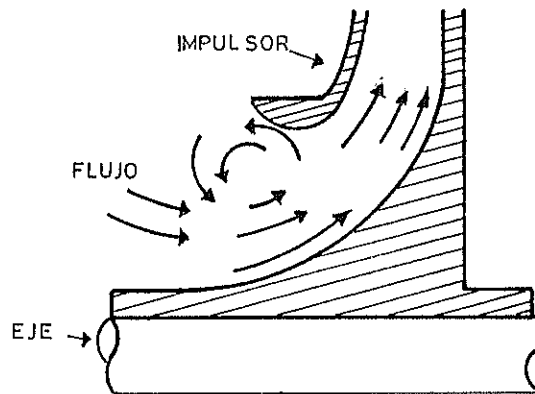
H cabezal en metros

D_2 diámetro del impelente, cm

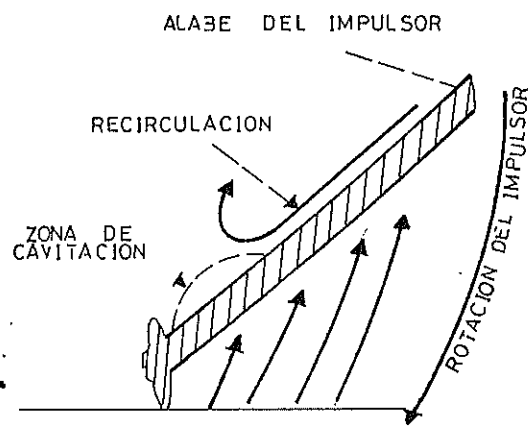
b_2 ancho del impelente, cm

S densidad relativa, 1.06

$$K = 0.36 \left(1 - \left(\frac{Q_i}{Q_n} \right)^2 \right) \quad \text{Ec. 15}$$

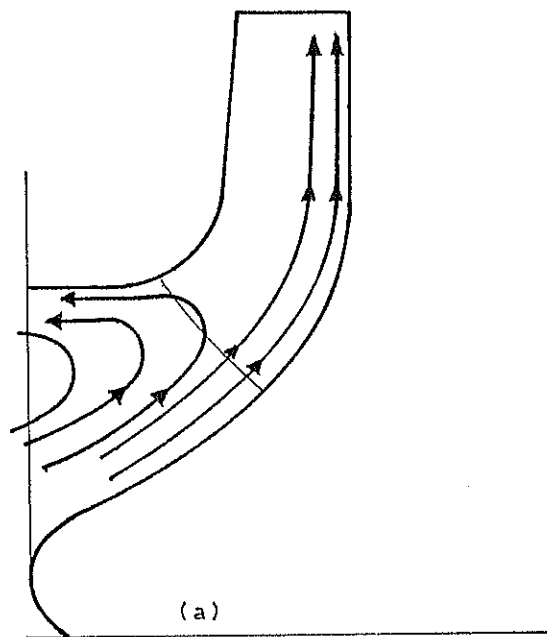


INVERSIONES DE FLUJO EN EL
IMPULSOR POR ESTRANGULACION

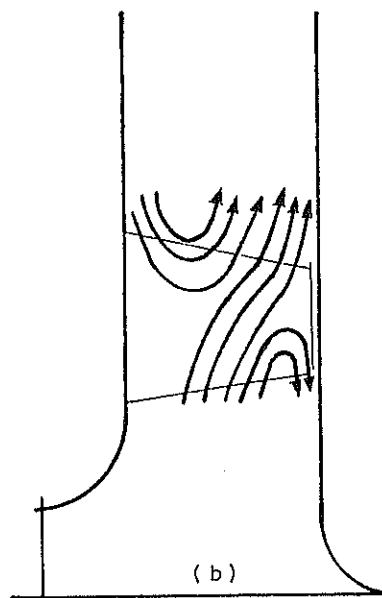


SENTIDO RELATIVO DE
RECIRCULACION DEL LIQUIDO

Fig. 2.16 RECIRCULACION O INVERSION DE FLUJO
EN EL IMPULSOR : PRODUCE CAVITACION



a.-) REDUCCION A UN 30% DE LA CAPACIDAD NORMAL



b.-) REDUCCION A UN 50% DE LA CAPACIDAD NORMAL

Fig. 2.17 PATRONES DE FLUJO EN EL IMPULSOR EN
CONDICIONES QUE NO SON DE MAXIMA EFICIENCIA

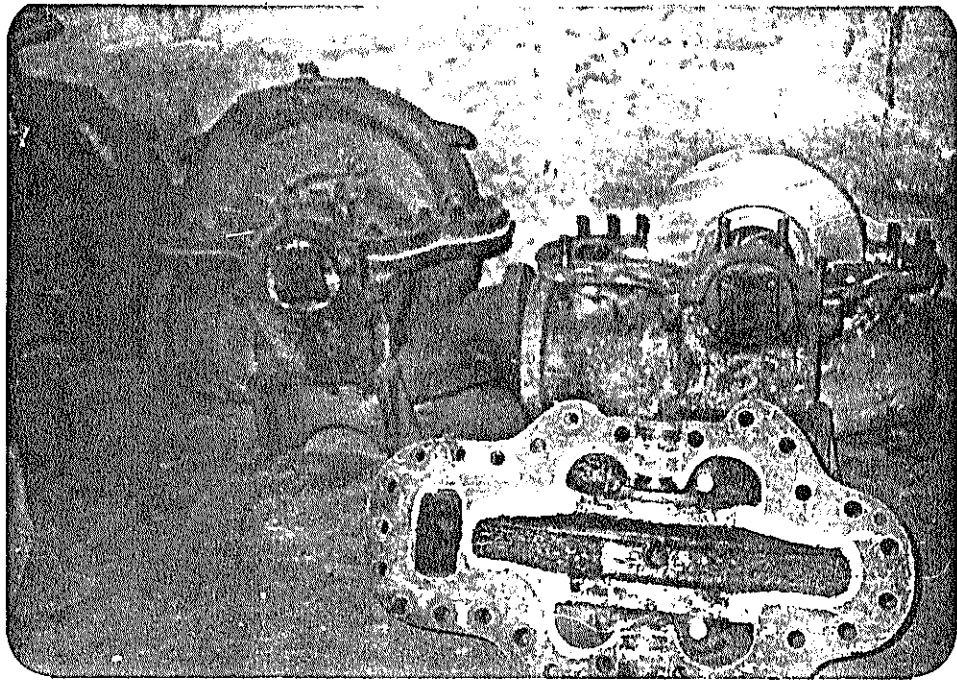


Fig. 2.18 (a) Daños en las cajas de las bombas principales

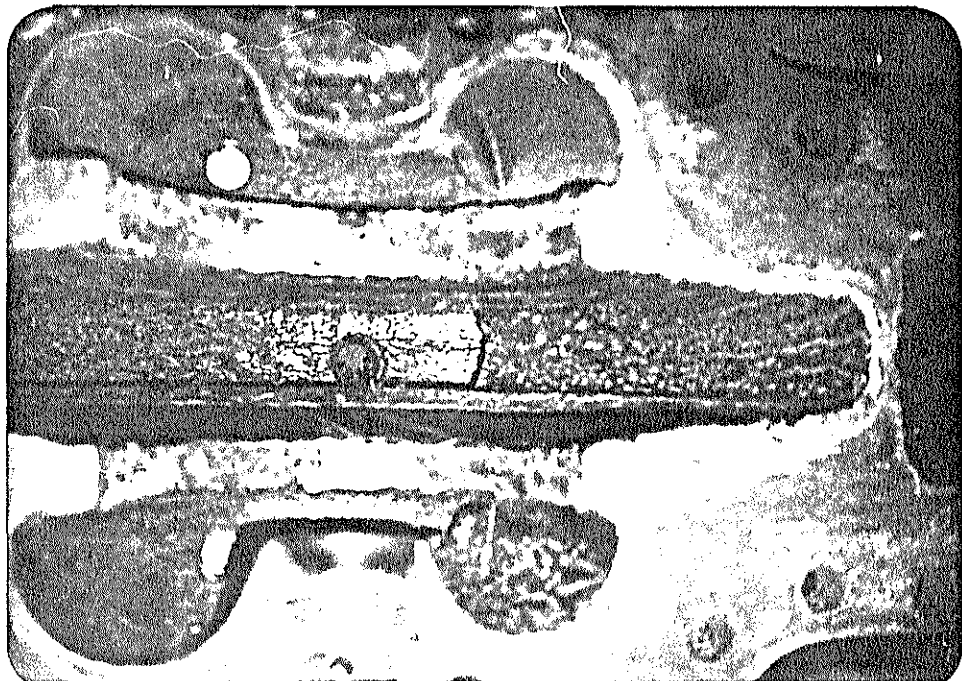


Fig. 2.18 (b) Daños en las cajas de las bombas auxiliares

Q_i capacidad cualquiera

Q_n capacidad normal en el punto de máxima eficiencia

Esta fórmula nos dá un empuje nulo a la capacidad normal y máximo con la válvula cerrada, cuando $K = 0.36$.

El efecto inmediato de estas fuerzas radiales en la carcasa es la flexión de la flecha, que ocasiona su ruptura, así como un rápido desgaste los anillos, por consiguiente disminución del flujo desarrollado. La ruptura de la flecha, aparece con frecuencia en las bombas principales, la que se localiza a un lado del impelente, empezando en el cuñero que asegura el impelente, como se muestra en la figura 19.

En las tablas 4 y 5 se muestra el efecto de la estrangulación en los puntos de operación de las bombas, de lo expuesto en la Tabla 5, se concluye que la bomba principal, no resiste esas condiciones de estrangulación; la flecha y rodamientos de la bomba auxiliar sí resiste esas variaciones de flujo.

El guarapo, tiene en suspensión abrasivos, los que erosionan las partes que entran en contacto con el fluido, y además se depositan en los anillos de

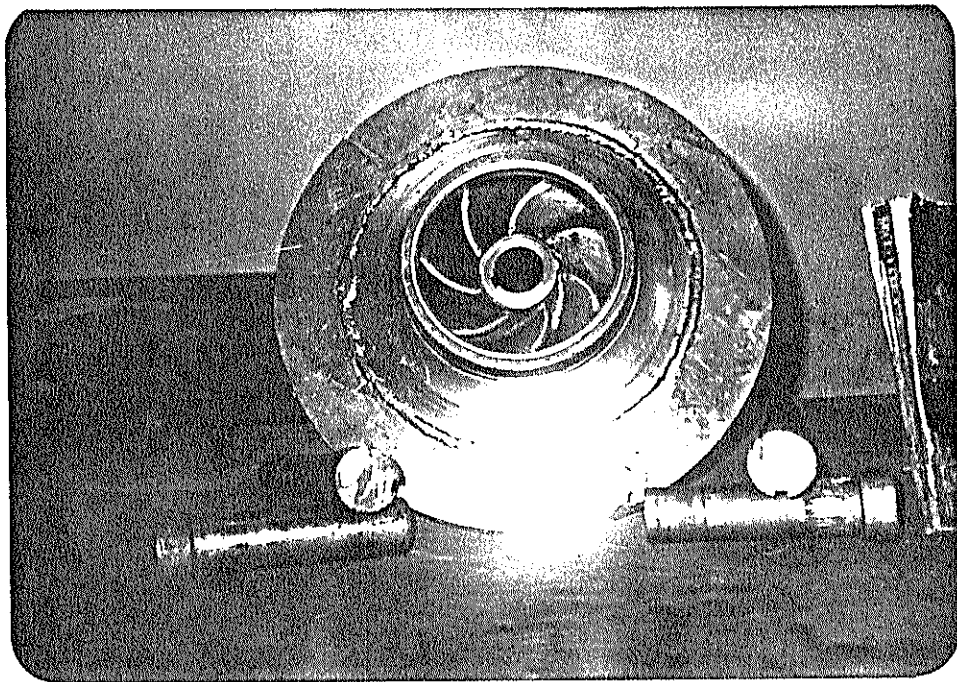


Fig. 2.19 (a) Impulsores y flecha destruidos

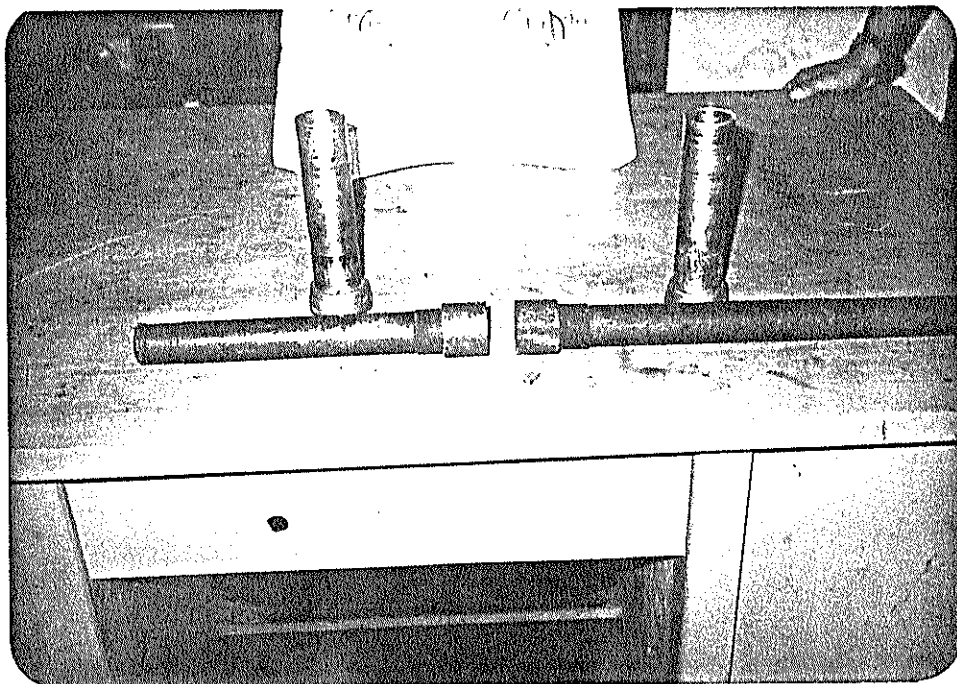


Fig. 2.19 (b) Flechas y Manguitos destruidos

DAÑOS DE LAS BOMBAS PRINCIPALES

TABLA 4

OPERACION NORMAL: A LA MAXIMA EFICIENCIA

BOMBA	BOMBA PRINCIPAL	BOMBA AUXILIAR
Flujo lts/min	6577	3135
Eficiencia máxima, %	82	76
Peso del impulsor, Nwt	295	314
Peso de la flecha, Nwt	66.8	137
Peso del acople, Nwt	111	111
Carga en los rodamientos		
P1, Nwt	134	281.4
P2, Nwt	289	363
Carga Dinámica, Nwt		
C1, Nwt	19600	27000
C2, Nwt	29000	29500
Relación de carga C/P2	67.8	74.3
Momento flector, Nwt.cm, Mb	4319 Fig.20	7149 Fig.21
Torque transmitido, Nwt-cm, Mb	60400	30204
Máximo esfuerzo Sh, Nwt-cm ² **	4175.9	1884
Lh10(hrs) de vida, Fig.22	300.000	300000
Diámetro del eje, cm, d	4.8	6.0

Donde:

$$*Sh = \frac{16}{\pi d^3} \{ (Km \times Mb)^2 + (Kg \times Mt)^2 \}^{1/2}$$

** Estos valores, de Sh, aumentan, cuando aumenta la estrangulación

TABLA 5

OPERACION CON ESTRANGULACION, Fig. 15

PUNTO DE OPERACION ZONA	B		C	
	PRINCIPAL	AUXILIAR	PRINCIPAL	D PRINCIPAL
Diám., del impelente, D1, cm	42.5	42.2	42.5	42.5
Ancho del impelente, b1, cm	2.54	2.54	2.54	2.54
Flujo Q, lts/min	4838	1588	3212	5481
Columna H, mts	84.17	84.17	88.4	88.18
K, factor de carga	0.18	0.27	0.274	0.11
R, carga radial por estrangulación, Nwt	1514	2538	2725	992.3
Carga en el impelente, W, Nwt	1832	2781	3036.8	1304.1
Carga en los rodamientos:				
P1, Nwt	823	1439	1376.2	588.5
P2, Nwt	1122	1655	1774	837
Relación de carga mínima, C/P2	17.47	16.3	11	23.41
Horas de duración mínima, L10H.	58.888	45.888	12.888	188.888
Torque máximo, Nwt-cm	68.488	38.284	68.488	68.488
Momento máximo (flector) Nwt		51884	474472	
Máximo esfuerzo, Nwt/cm ² , Sh		1614	4789 *	
Diámetro de la flecha, cm, d	4.8	6.8	4.8 *	4.8

* Si aumenta el estrangulamiento, el diámetro de la flecha es insuficiente

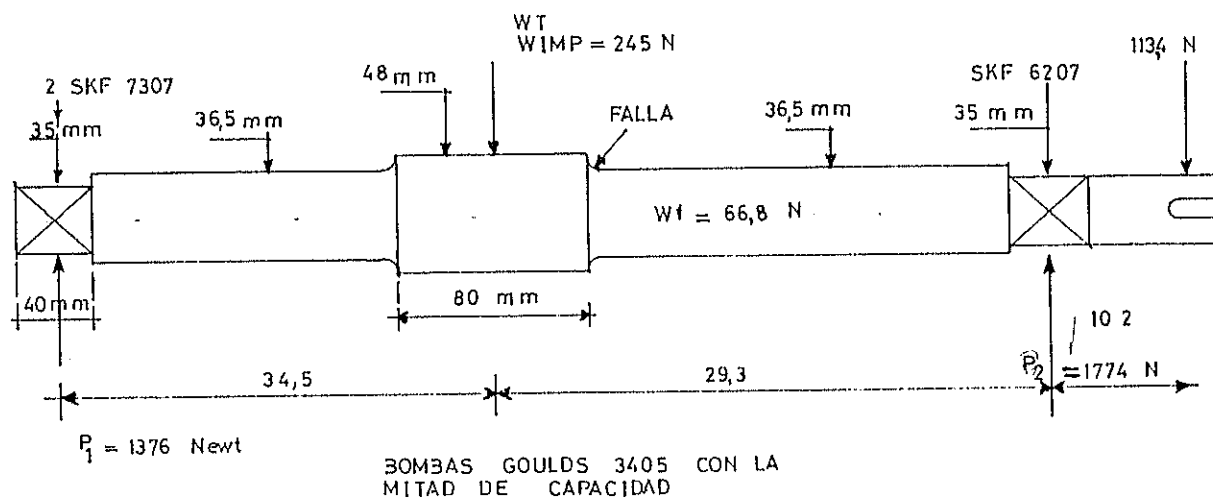
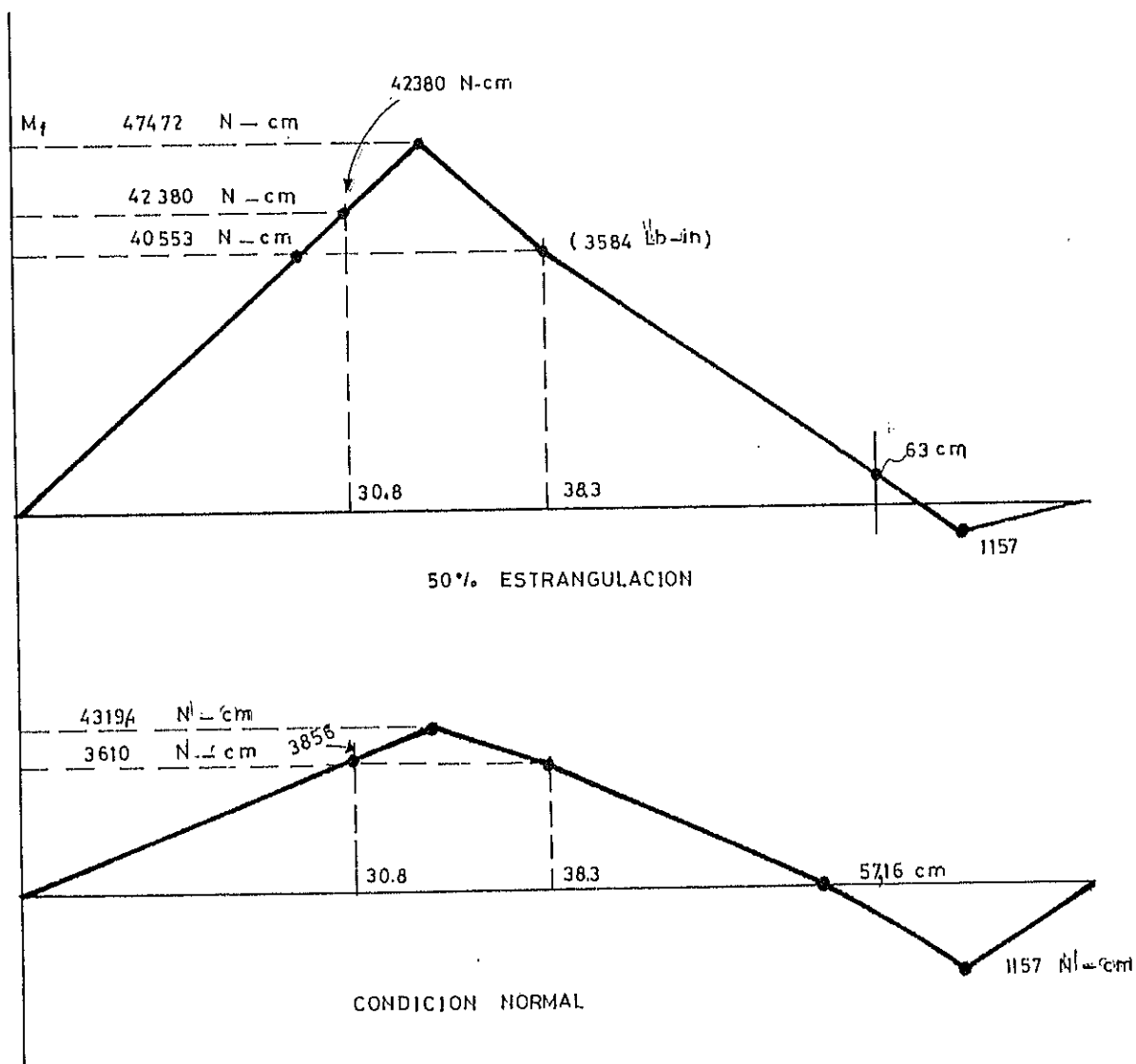


Fig. 2.20 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DE LA FLECHA EN LA BOMBA PRINCIPAL

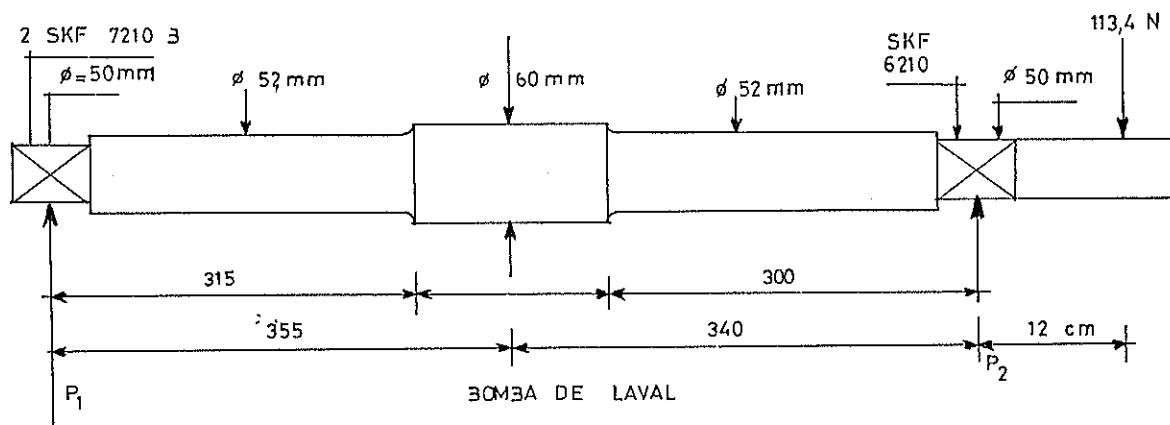
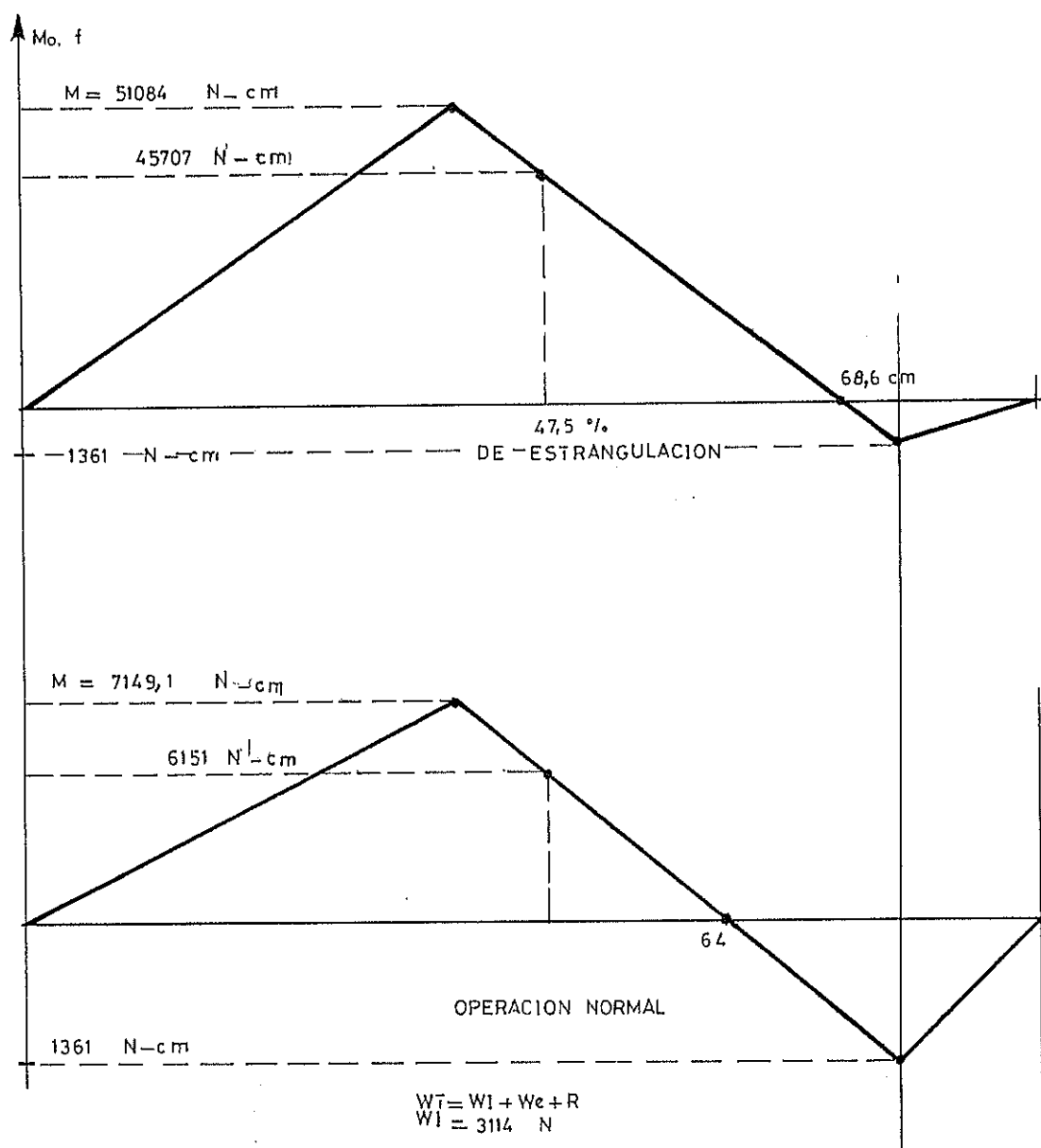


Fig. 2.21 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DE LA FLECHA EN LA BOMBA AUXILIAR

Selección del tamaño del rodamiento

Capacidad de carga y duración

Cálculo de la duración

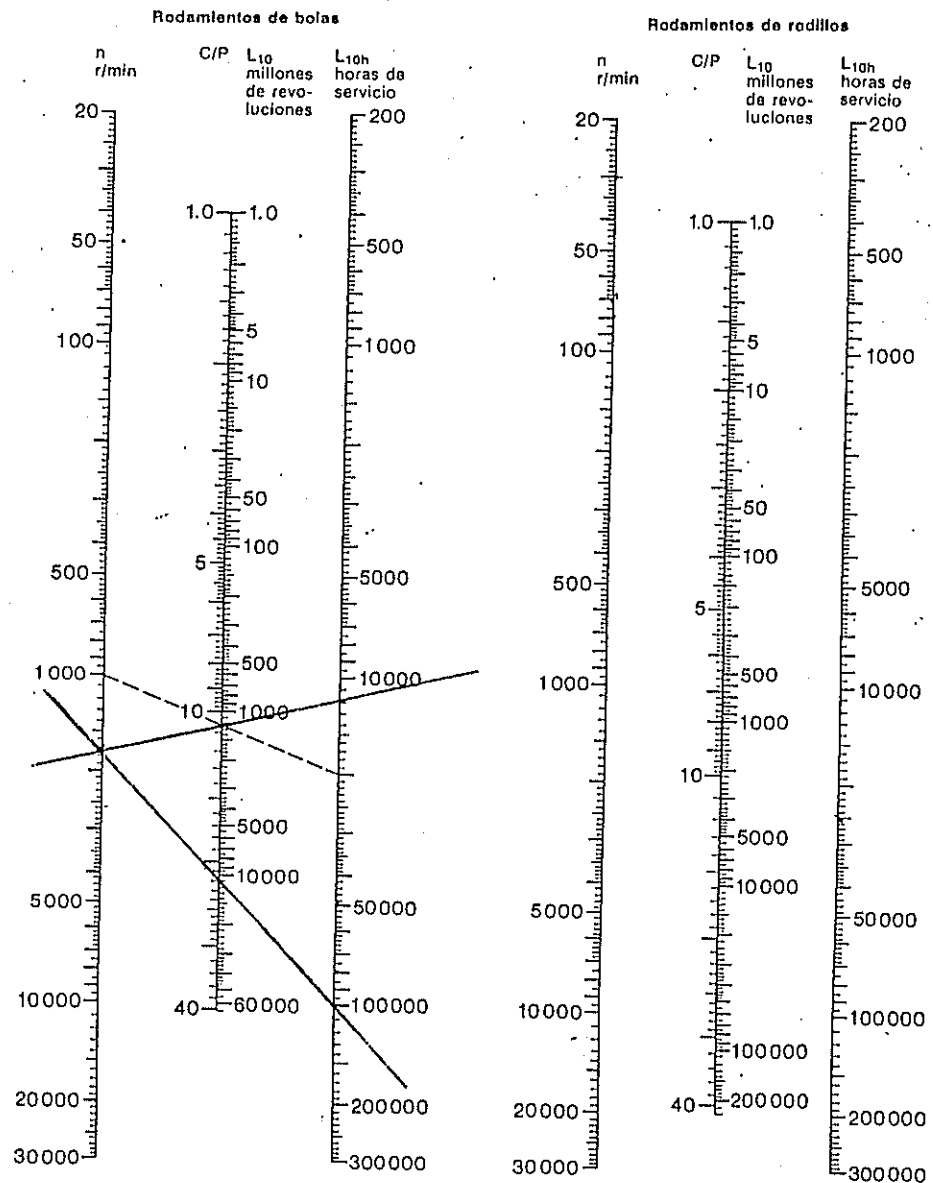


Fig. 2.22 Reducción de la vida de los rodamientos de las bombas

desgaste, aumentado el claro entre ellos. Este aumento del claro y la carga radial por estrangulación contribuyen a que aumente la deflexión de la flecha, y por lo tanto disminuye la velocidad crítica de la flecha.

$$N_c = \frac{942.5}{f}, \text{ -- RPM} \quad \text{Ec. 16}$$

f = deflexión, mm

Cuando la deflexión sea $f = 0.284$ mm, la velocidad crítica es igual a la velocidad de funcionamiento, entrando en resonancia la flecha, produciéndose su fallo.

Entradas de aire. Es una condición que afecta considerablemente en la capacidad de la bomba. En esta instalación, se observa la formación de vórtices en la superficie del líquido del tanque, debido a que en ocasiones no hay la altura mínima de fluido, cuando disminuye el nivel de guarapo.

Otro problema que se observa, es la formación de bolsas de aire en los ramales de succión, debido a fallas en la construcción de estas conexiones, instalación de codos y válvulas muy cerca de la

bomba, debido a la limitación de espacio.

2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Para la nueva instalación se tratará de utilizar la mayor parte de los elementos existentes, principalmente los motores eléctricos.

Para solucionar el problema de desgaste en las impulsiones y cajas de las bombas debido a la presencia de sustancias abrasivas en el guarapo, efecto que se incrementa cuando las bombas operan fuera del punto de máxima eficiencia, arriba o abajo de éste, se adquirió dos bombas de materiales resistentes a la abrasión, y de modelos diferentes: una sola succión y sin anillos de desgaste. Fig. 23 y Fig. 24.

Pero, al solicitar estas bombas, se solicitó con las mismas características de las anteriores, volviendo al problema de columna total reducida, (1) estrangular la descarga, (2) usar más de una bomba para suministrar el gasto requerido, (3) sobrecalentamiento de los motores, por sobrecarga.

Para corregir el exceso de columna desarrollada por las bombas, tanto en las nuevas como en las existentes, es necesario reducir:

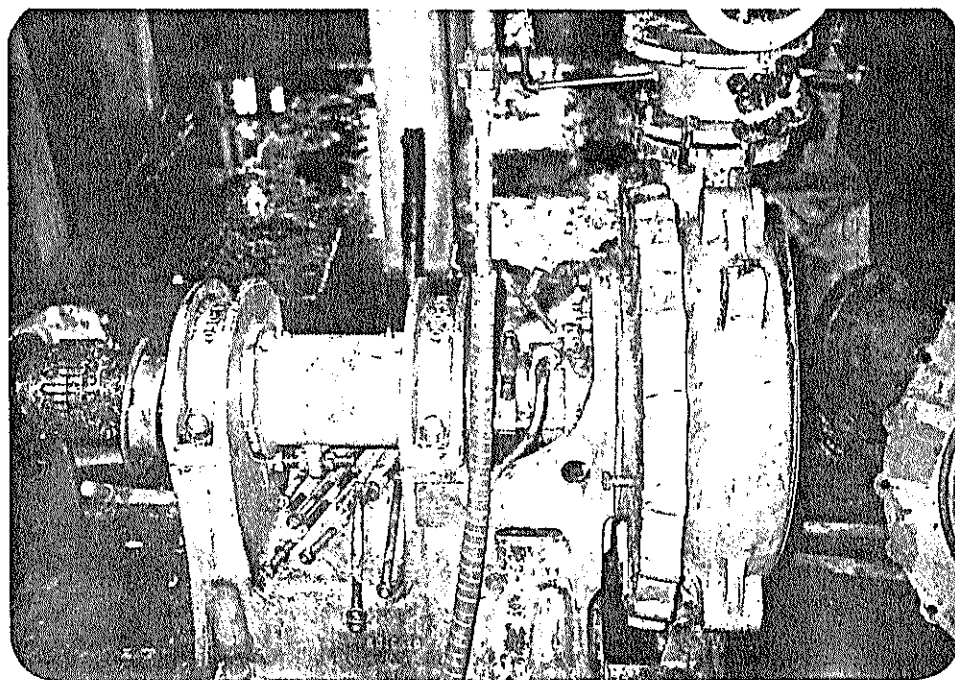


Fig. 2.23 (a) Bomba NPK-150-400

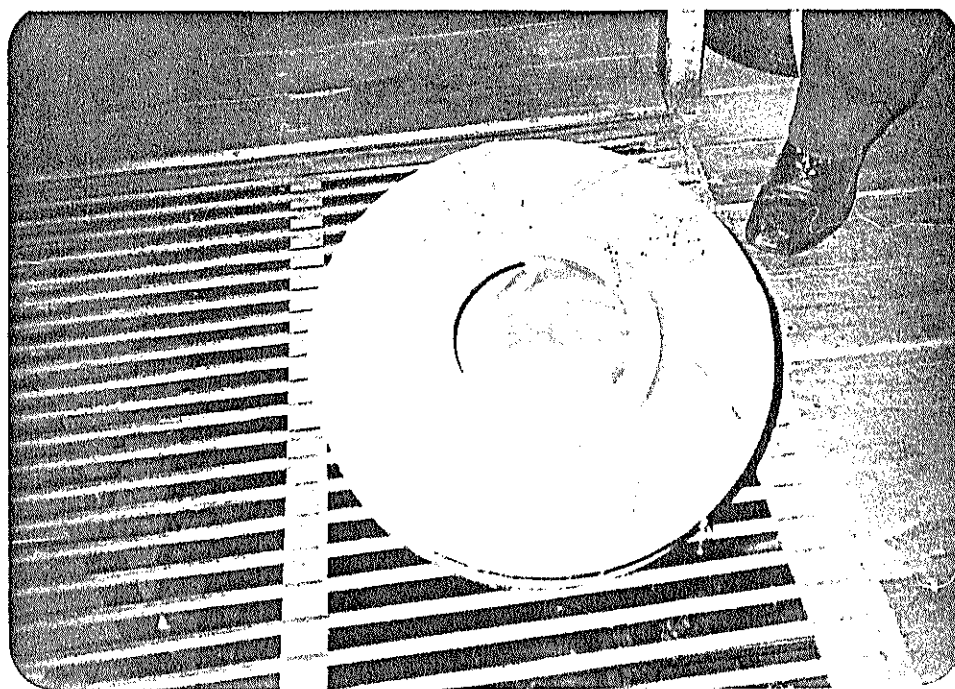


Fig. 2.23 (b) Impulsor de la bomba

BOMBA MODELO NPK 150 - 400 PARA MANEJAR FLUIDOS CON
ABRASIVOS

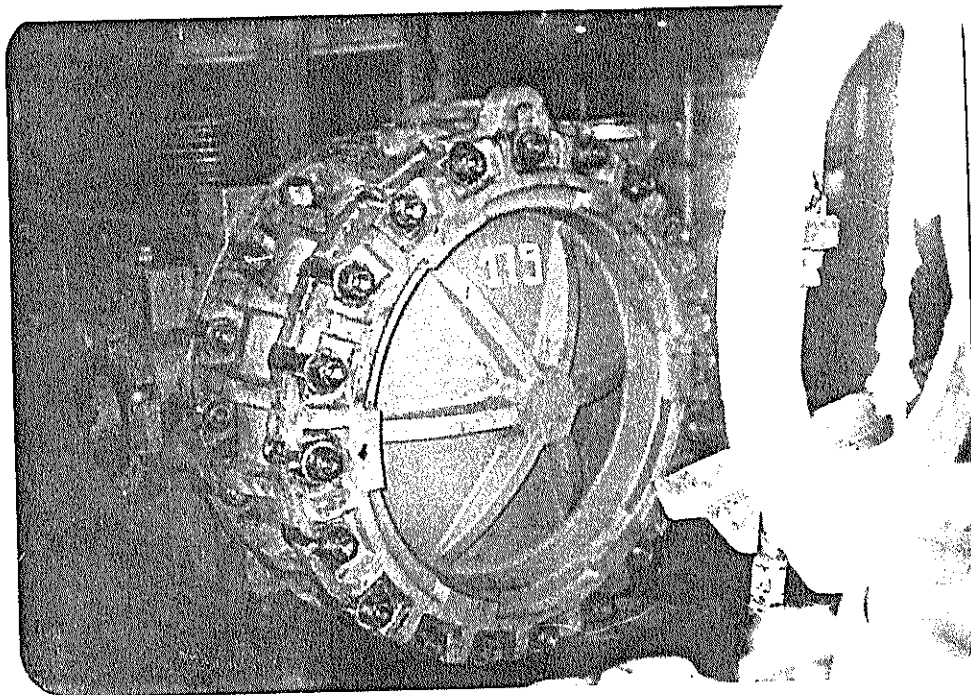


Fig. 2.24 (a) Bomba completa

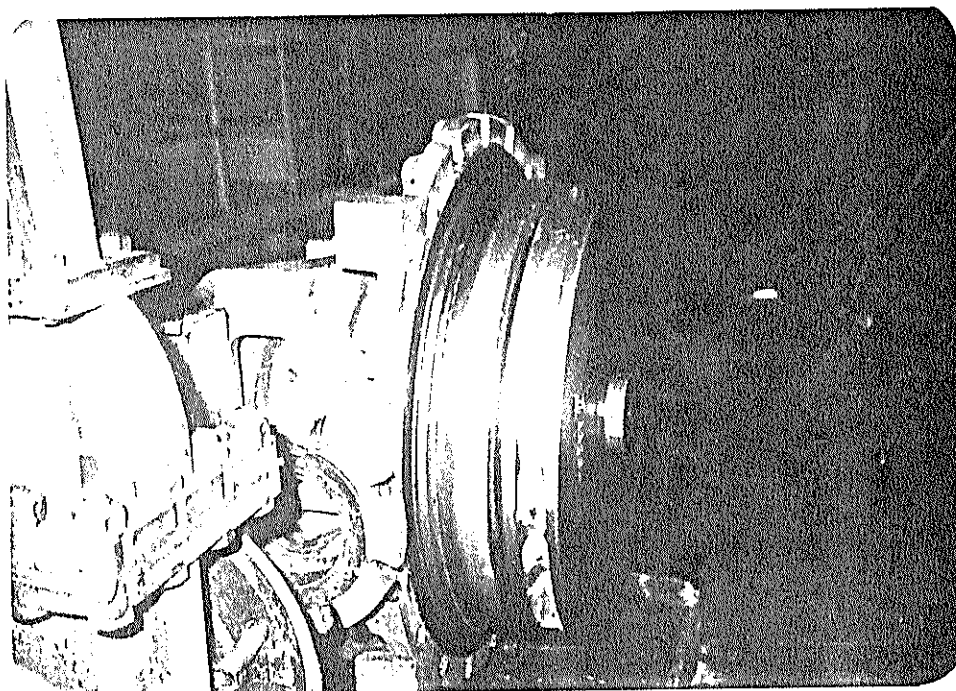


Fig. 2.24 (b) Impulsor montado en la flecha

BOMBA MODELO 5000, CON SUCCION LATERAL, PARA MANEJAR FLUIDOS
CON ABRASIVOS

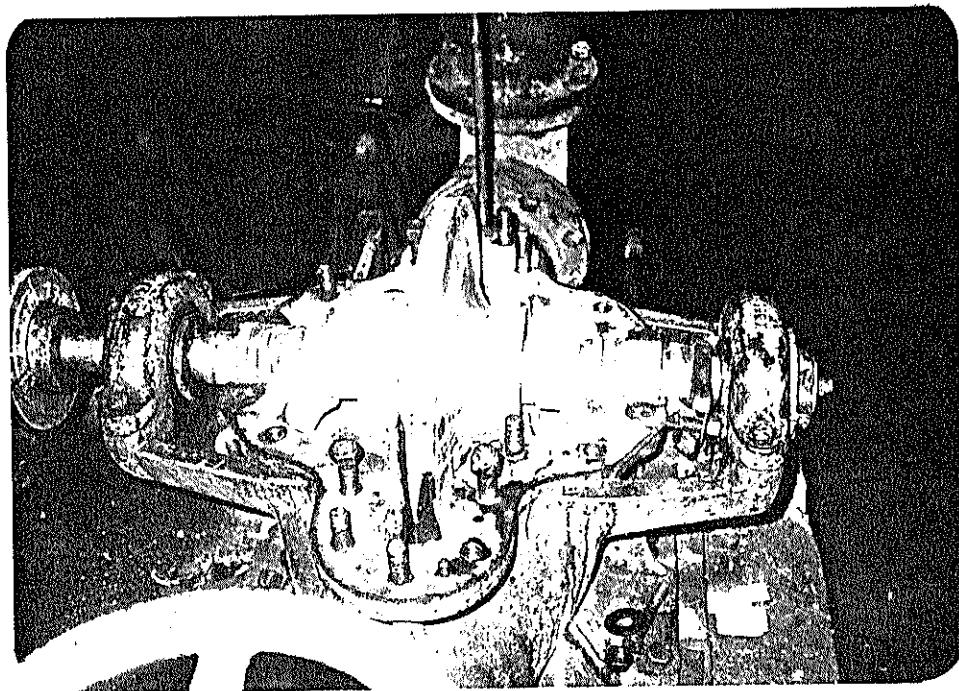


Fig. 2.25 (a) Bomba auxiliar completa

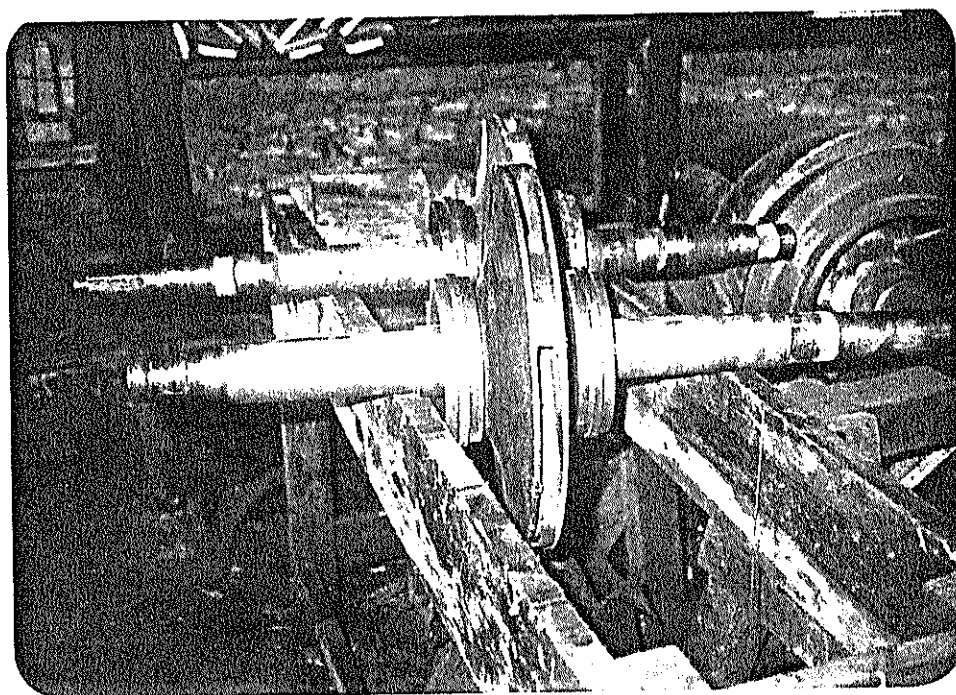


Fig. 2.25 (b) Impulsores de la bomba

BOMBA AUXILIAR: MODELO K 5/4

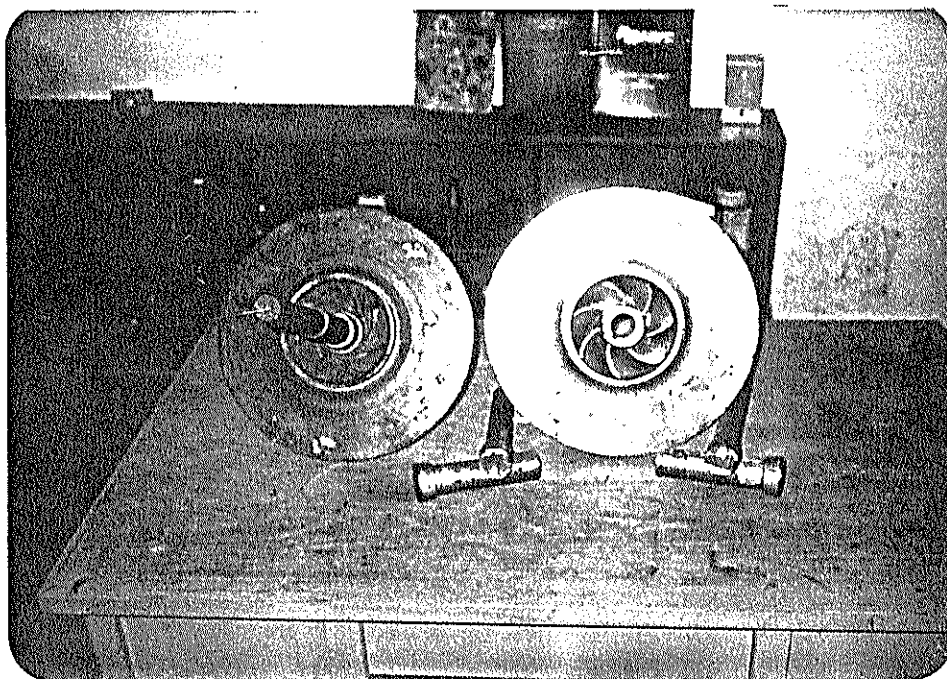


Fig. 2.26 (a) Impulsores instalados



Fig. 2.26 (b) Impulsor nuevo: resistente a los abrasivos

- a. La velocidad de operación de las bombas
- b. Los diámetros de los impelentes

En las bombas nuevas, será necesario encontrar la velocidad y potencia para la capacidad y columna requerida por el sistema, más un aceptable margen de seguridad.

Y, para completar el grupo de bombas, se usará la bomba auxiliar existente, reduciéndole el diámetro del impelente correspondiente a la columna del sistema y potencia de motor existente (Fig. 25).

Las variaciones en la capacidad normalmente se realiza con un cambio en la carga de la bomba, en la velocidad o ambas simultáneamente, esta regulación puede ser automática o manual, tales como:

1. Estrangulación en la descarga.- Es un método económico y común para la modulación de la capacidad, su uso está restringido a bombas de velocidad específica baja y mediana; y además será necesario de una derivación de retorno, para disminuir la estrangulación.
2. Regulación mediante derivaciones.- Toda la capacidad de la bomba o parte de ella, puede derivarse de la línea de descarga a la succión de la bomba, pero no es tan conveniente porque

origina turbulencia.

3. Regulación de la velocidad.- Esto puede usarse para minimizar los requisitos de potencia y eliminar el sobrecalentamiento durante la modulación de la capacidad, se podría utilizar turbinas de vapor ó máquinas de combustión interna las que se adaptan fácilmente a la regulación de velocidad. Además, existe una gran variedad de variadores de velocidad: mecánicos, magnéticos e hidráulicos, así como motores de velocidad variable.

Para nuestro caso, utilizaremos los mismos motores eléctricos de c.a., reduciendo la velocidad de las bombas, con transmisión de bandas en v, poleas reductoras y para evitar el exceso de estrangulación se instalarán derivaciones de retorno al tanque, completando la modulación manual con las válvulas de regulación a la entrada de las baterías de los calentadores.

CAPITULO III

REDISEÑO DEL SISTEMA

3.1 MODIFICACIONES A REALIZARSE EN EL SISTEMA

Las modificaciones serán realizadas en el equipo de bombeo, en:

1. El tanque de alcalinización
2. Tuberías de succión
3. Bombas

Tanque de alcalinización. - Para evitar el derrame del guarapo del tanque en los momentos de sobreflujo, fallas de las bombas, o cualquier otra anomalía, se aumentará su capacidad en un 25%.

Además, el tanque será levantado 50 cm. de su nivel anterior, con la finalidad de mantener un nivel mínimo de altura de líquido, para evitar la cavitación. Fig. N°1 y Fig. N°2 muestra estos cambios.

Tubería de succión. - Por falta de espacio, no es posible tener líneas separadas de succión y directas del tanque a cada bomba, en la figura N°3, se muestra las dos tuberías de succión, para las tres bombas.

Para línea de succión 2, el área mínima de la tubería principal debe ser por lo menos la suma de las áreas de los ramales:

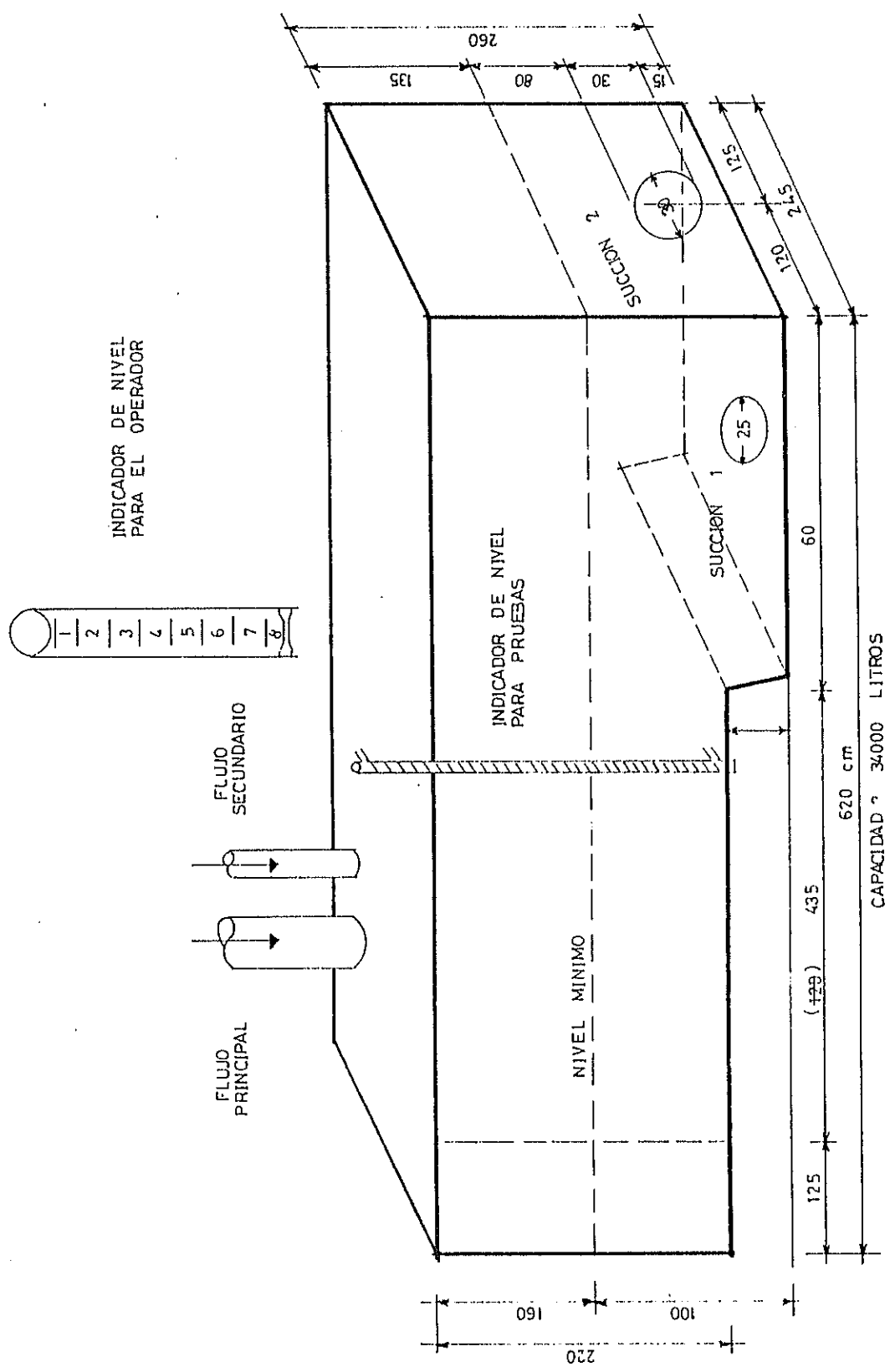


Fig. 3.1 TANQUE DE ALCALINIZACION EN SUS MODIFICACIONES

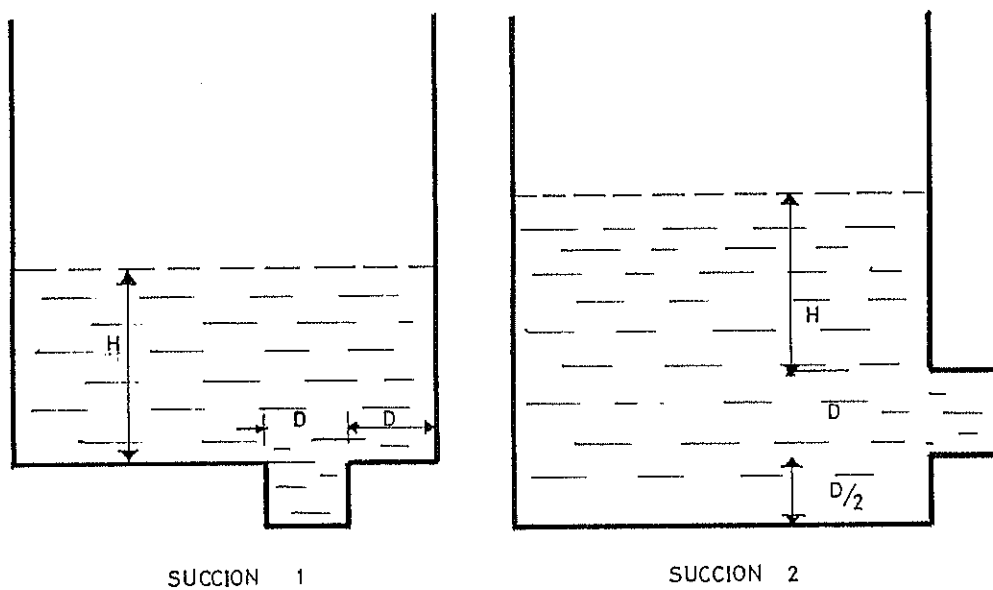
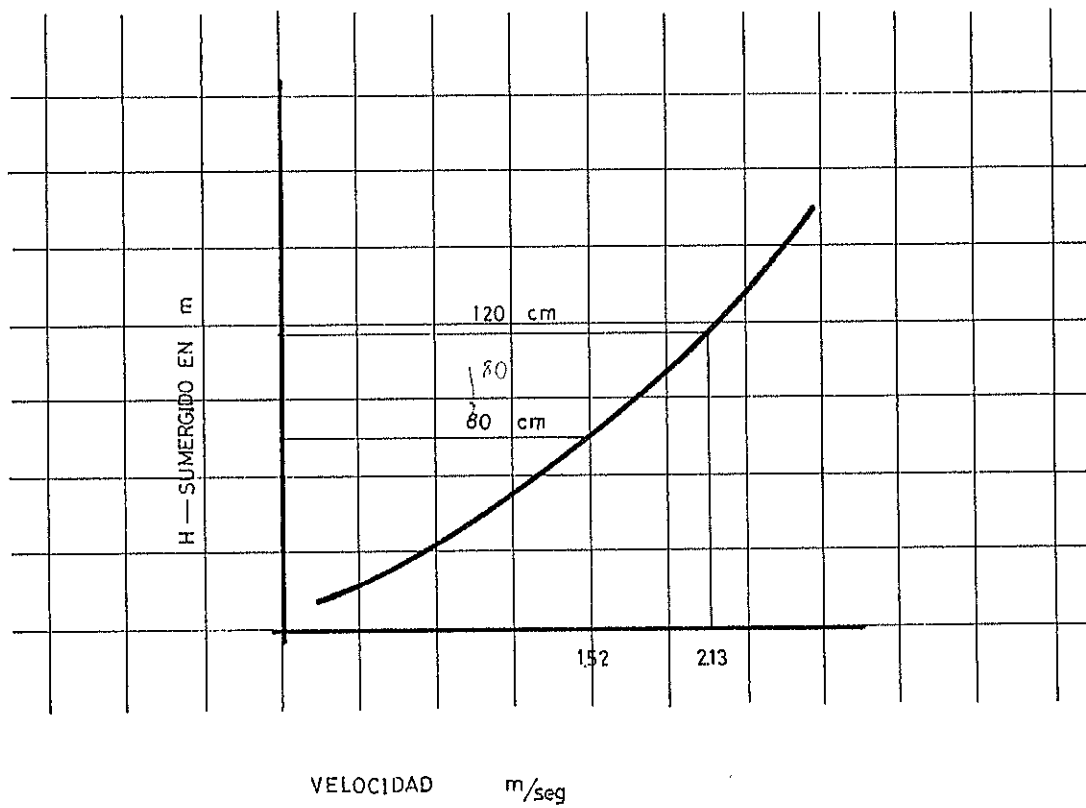
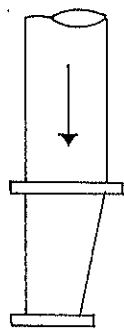


Fig. 3.2 DETERMINACION DE LA ALTURA MINIMA DEL LIQUIDO DEL TANQUE



CONEXION DE LAS REDUCCIONES

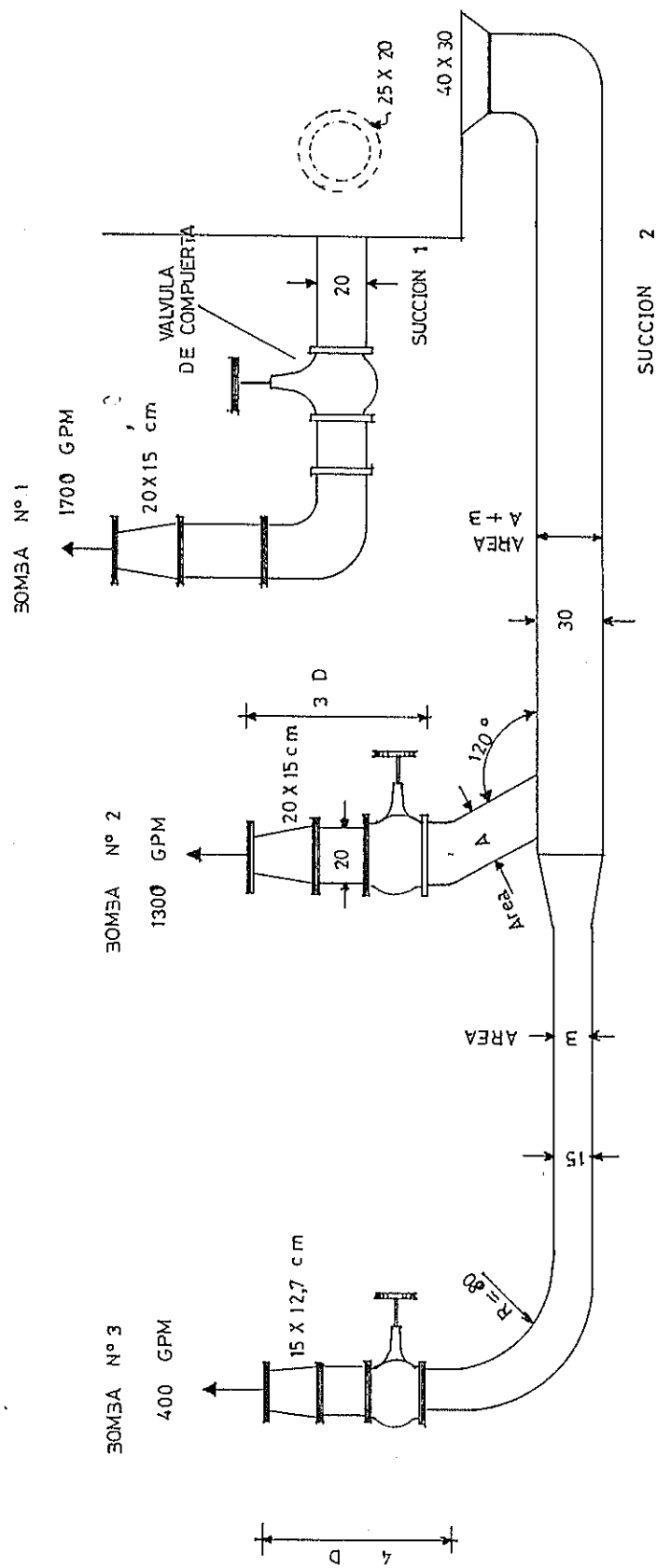


Fig. 3.3 TUBERIA DE SUCCION

Sección A:	54 cm ²
Sección B:	36.1 cm ²
Sección Principal:	102 cm ²

Las válvulas ubicadas en las líneas de succión, permanecen totalmente abiertas durante el funcionamiento, la tubería utilizada es de acero, cédula 40.

Bombas.— Se dispone de dos bombas nuevas de materiales resistentes a la abrasión y una tercera, que es la bomba auxiliar de la instalación anterior.

Para poder utilizar estas bombas, se debe modificar sus características, partiendo de una columna mínima de 55 metros, en sus puntos de máxima eficiencia, utilizando las leyes de afinidad.

- a. La capacidad es directamente proporcional a los diámetros o velocidades de los impulsores.
- b. La columna es directamente proporcional al cuadrado de la razón de los diámetros o velocidades de los impulsores.
- c) La potencia es directamente proporcional al cubo de la razón de los diámetros o velocidades de los impulsores.

Bomba número 1

Las características de esta bomba en su punto de máxima eficiencia son:

Eficiencia máxima, %	67
Flujo, Q, m ³ /min	7.33
Columna, H mts	63.5
Potencia, P, Kw	115
Velocidad del impulsor, RPM	1770
Velocidad específica, Ns	1420
Dureza del impulsor, BHN	600

A 1770 RPM, esta bomba presenta los mismos problemas, de la instalación anterior, por lo tanto es necesario reducir la velocidad de operación para una columna mínima de 55 metros, por lo que la nueva velocidad es:

$$N_2 = 1770 \left(55/63.5 \right)^{1/2}$$

$$N_2 = 1647 \text{ RPM, con}$$

$$Q_2 = 6820 \text{ litros/min.}$$

En la Tabla N° 1, están tabulados las características predichas para la nueva velocidad, y en la figura N° 4, se muestran las características a diferentes velocidades, de la figura 4 podemos ver, que solo necesitamos una potencia de accionamiento de 86 Kw y no 110 Kw.

TABLA N° 3.1

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA N° 1

M ³ /HORA	A	1770 RPM COLUMNA, M	POTENCIA, KW	EFF	M ³ /HORA	A	1647 RPM COLUMNA, M	POTENCIA, KW	EFF
100		85.5	65	38	93.05	74	52.4	38	
200		81.0	81	55	186.1	70.1	62.3	55	
300		75.0	96	63	276	65	77.3	63	
400		67.0	110	66	372	58	88.6	66	
440		62.5	112	68	409	54	90.2	68	
500		57.5	115	66	465	49.8	92.7	66	
550		52	126	64	512	45	102	64	

Nótese que la eficiencia permanece constante, para una capacidad, columna y potencia correspondiente.

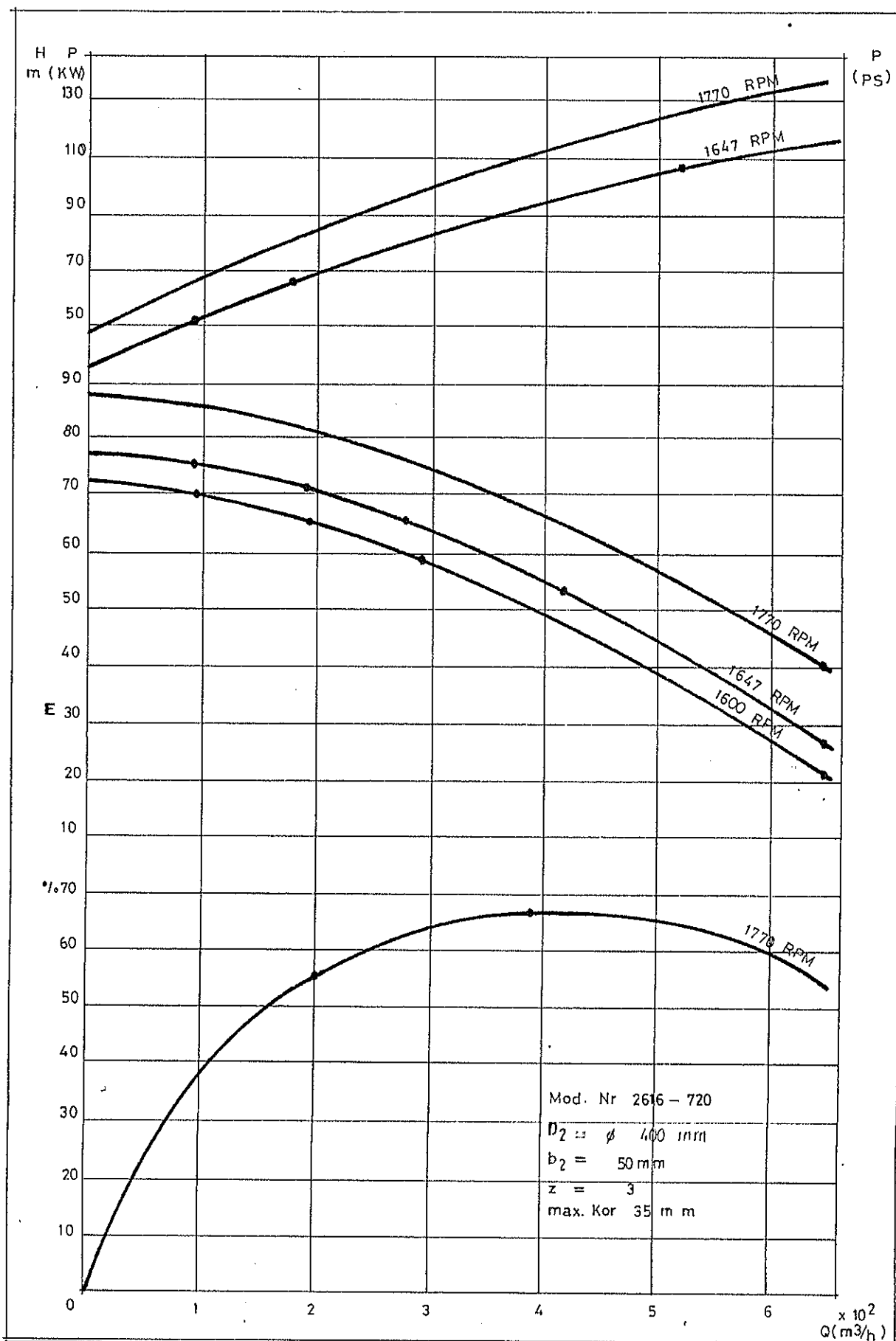


Fig. 3.4 Características de la bomba NPK 150 - 400

Bomba número 2

Esta bomba es similar a la anterior, sus características son:

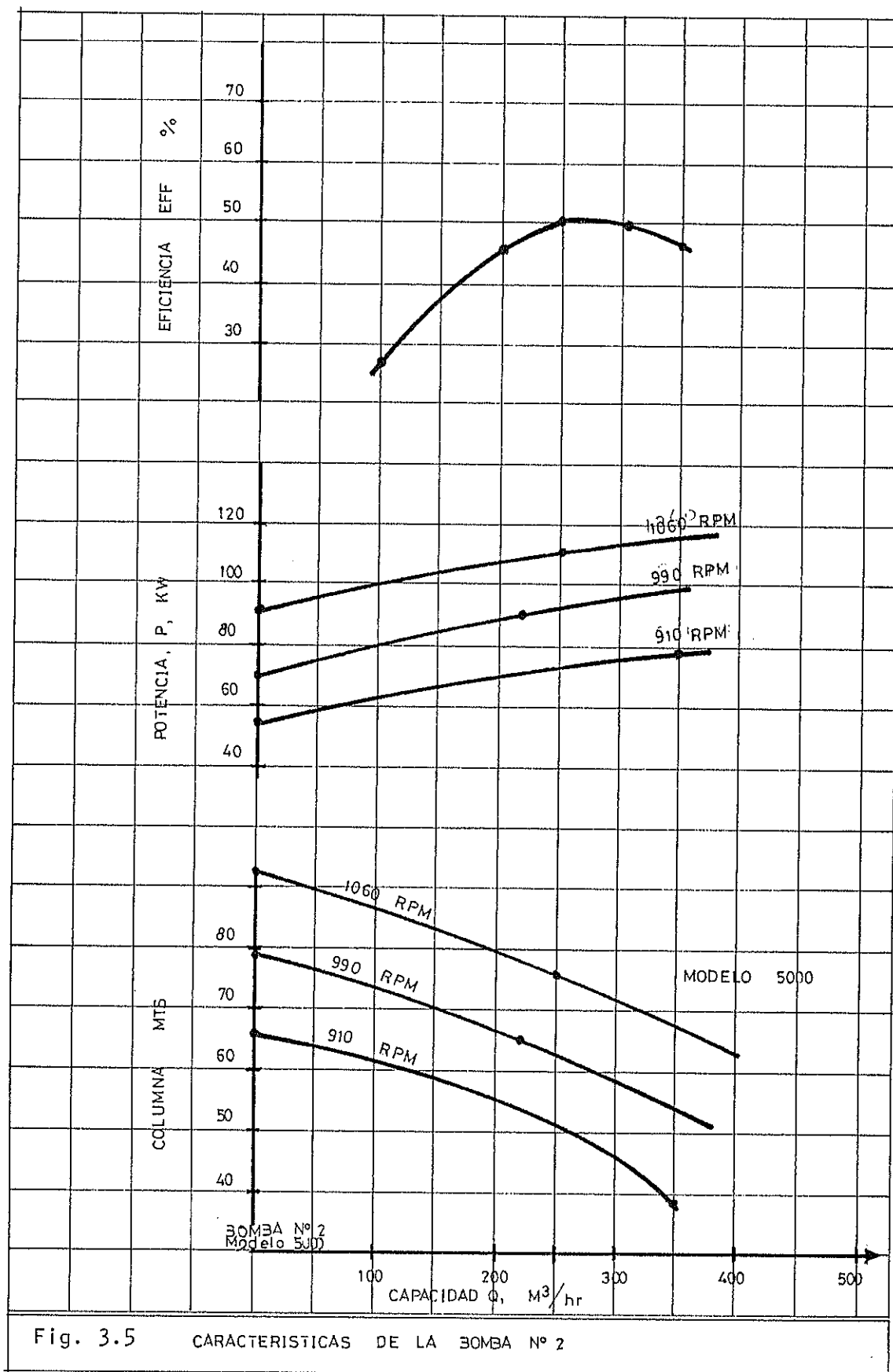
Capacidad, m ³ /min	4.150
Columna, mt	76.2
Potencia, Kw	110
Velocidad de operación, RPM	1060
Dureza del impulsor, BHN	600

No se dispone de la curva H-Q, por lo tanto, se realizó una prueba, variando el caudal desarrollado por la bomba con una válvula de estrangulación en la descarga, tomando el tiempo de descarga de la respectiva altura del tanque de alcalinización, y un manómetro en la descarga, para medir la columna desarrollada por la bomba para cada condición.

Con esta información, se elaboró las curvas respectivas para la velocidad que se solicitó la bomba, y la nueva velocidad requerida, para la columna de 55 mts, siendo ésta:

$$\begin{aligned}N_2 &= 990 \text{ RPM, para} \\Q_2 &= 5333 \text{ litros/min.}\end{aligned}$$

En la Tabla # 2, se muestran las características predichas para las velocidades de 1060 y 990 RPM y



las obtenidas de la prueba a 910 RPM; la figura # 5, tenemos graficadas las características indicadas en la tabla # 2.

Tercera Bomba: Bomba Auxiliar

El funcionamiento de esta bomba, se efectúa a una capacidad reducida y eficiencia baja; caso contrario desarrolla mayor capacidad sobrecargando el motor eléctrico.

Se puede lograr un cambio en la operación de la bomba, reduciendo el diámetro a velocidad constante.

$$D' = D (Q'/Q)$$

$$H' = H (Q'/Q)^2$$

$$P' = P (Q'/Q)^3$$

La figura 6, muestra la corrección por reducción del diámetro, dado por Stefan, A.J. "Centrifugal and Axial Flow Pumps", 1967, la que se aplica a un impulsor dado con D modificado y a eficiencia constante. Las reducciones se hacen en el orden del 10 al 20%. Otra corrección, propuesta a la reducción del diámetro, propuesta por Rutschi, "Manual de bombas" de IGOR. KARASSIK, se indica en la figura # 7, la que se aplica a las ecuaciones anteriores.

Las características a 1770 RPM de la bomba, Fig. 8,

TABLA N° 3.3

CORRECCIONES AL DIAMETRO DE LA BOMBA N° 3

D antes de cortar	cm	42.23
D' predicho por las ecuaciones	cm	36
D' corregida por la figura 6	cm	36.74 ^a
D corregido por la figura 7	cm	36.62 ^b

^a $D'/D = 36/42.23$, por la figura 6, $D'/D = 0.87$
 corregido, $D' = 0.87 (42.23) = 36.74$ cm

^b $D-D' = 42.23 - 36 = 6.23$; $N_s = 812$; fig. 7. $k = 0.9$
 corregido $D - D' = 0.9 (6.23) = 6.61$ cm
 corregido $D = 42.23 - 5.61 = 36.62$ cm

ENTONCES LAS CARACTERISTICAS. PREDICHAS SON:

D, cm	Q, litros/seg	H, MT	P, KW	Ns.	Ns D	EFF, %
42.23	51.7	75.5	50.71	806	34038	75.5
36.00	44.1	54.9	31.42	952	34272	75.5
36.74	44.98	57.15	33.39	932.6	34262	75.4
36.62	44.8	56.8	33.1	935	34240	75.4
36.68	44.9	57.0	33.2	934	34246	75.6

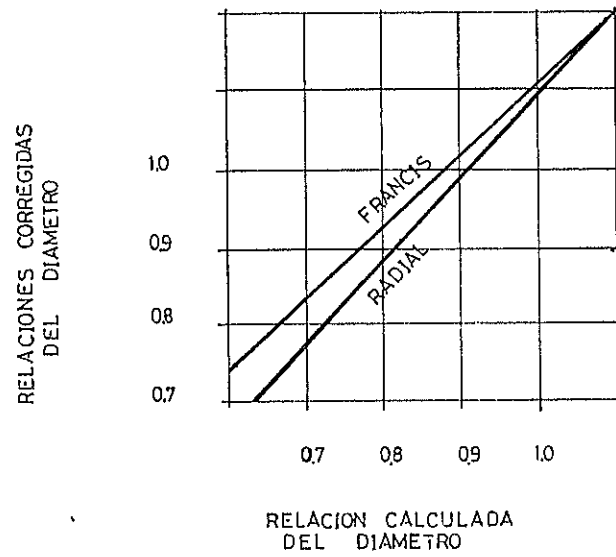


Fig. 3.6 CORRECCIONES PARA LAS REDUCCIONES CALCULADAS EN EL DIAMETRO DE IMPULSOR (DE A J STEPANOFF CENTRIFUGAL AND AXIAL PUMPS)

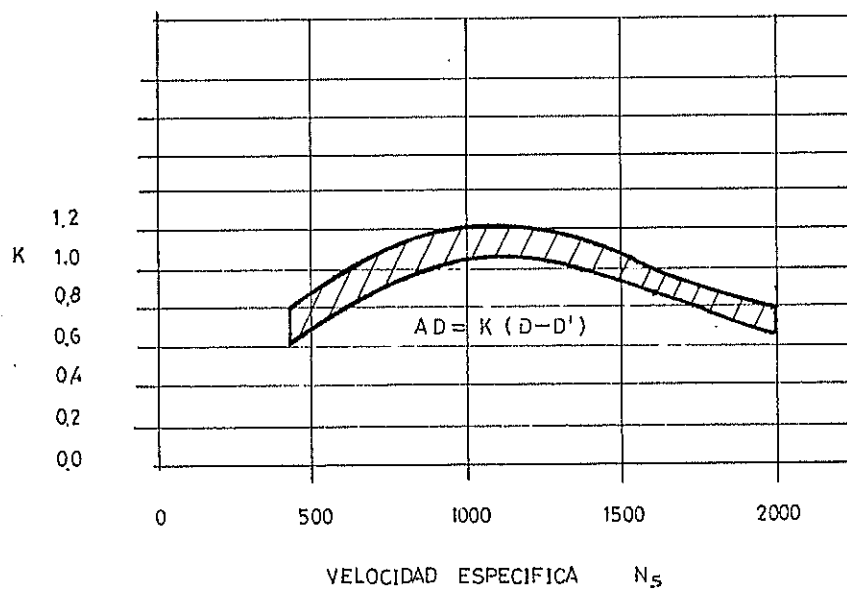


Fig. 3.7 CORRECCIONES PARA LAS REDUCCIONES CALCULADAS DEL DIAMETRO DEL IMPULSOR

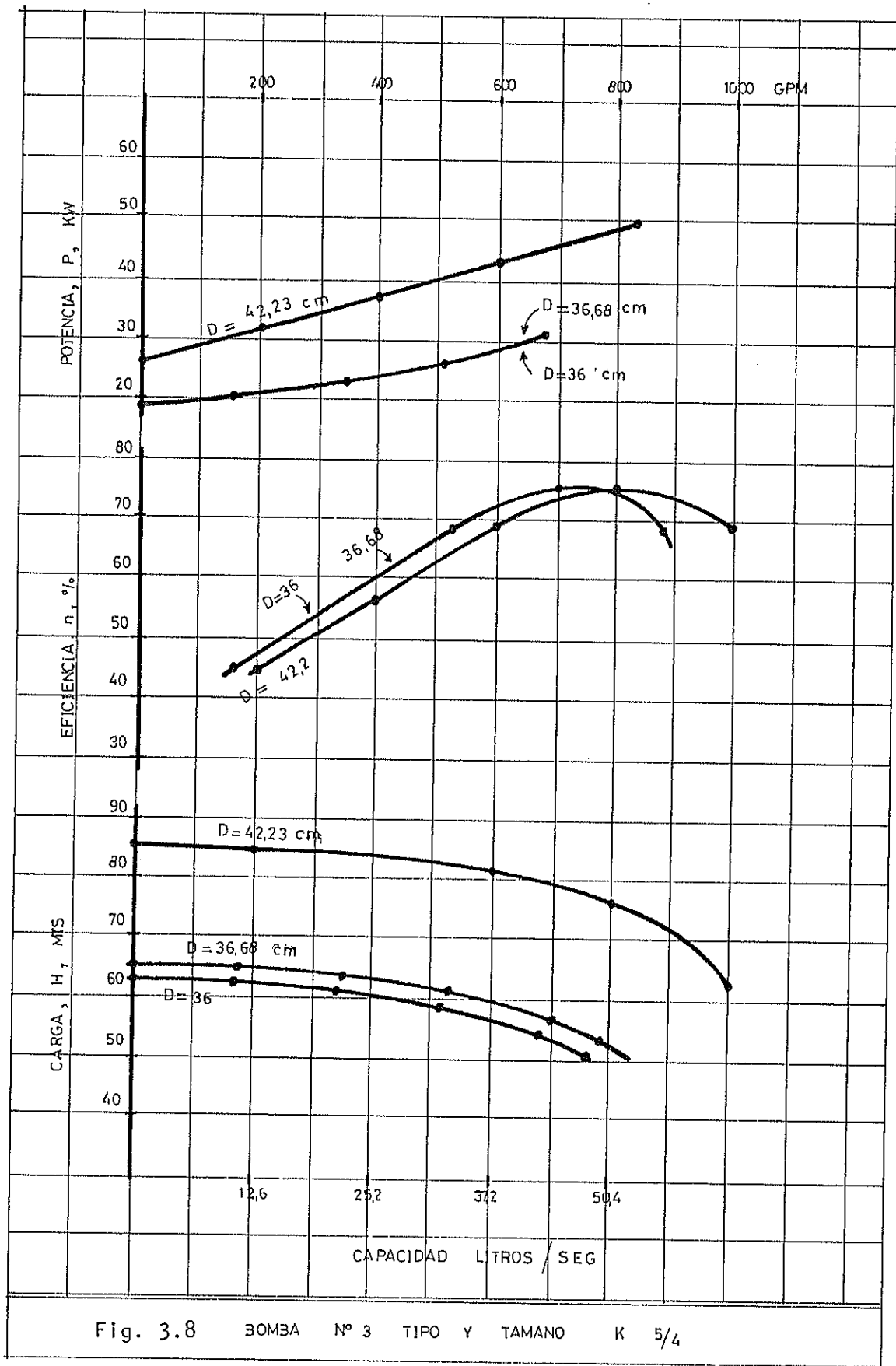


Fig. 3.8 BOMBA Nº 3 TIPO Y TAMANO K 5/4

son utilizadas para encontrar el nuevo diámetro del impulsor, para la misma velocidad. Empezando en el punto de máxima eficiencia, en $D=42.2$ cm, se requiere reducir la carga de 75.46 mts a 55 mts para determinar el nuevo diámetro, tenemos:

$$D' = D (H'/H)^{1/2} = 42.2 (55/75.46)^{1/2}$$

$$D' = 36 \text{ cms.}$$

Las columnas y capacidades supuestas con este diámetro resulta menores, a los corregidos, en la figura 8, se muestran las diferentes curvas para los valores predichos y corregidos con los factores de las figuras 6 y 7.

En la Tabla 3, se muestran los resultados de la reducción del diámetro, predichos por las relaciones de afinidad de las bombas y los resultados corregidos.

De estos resultados el diámetro seleccionado, es el promedio de los diámetros corregidos.

$$D = (D'_1 + D'_2) / 2 = 36.68 \text{ cm.}$$

3.2 IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

Bomba # 1:

Bomba Haberman

Modelo:

NPK-150/400

Diseño de la transmisión:

Poleas-banda en
V, con contra-eje

DATOS

Unidad de accionamiento: Motor eléctrico, c.a.

Potencia máxima, P_{max} , Kw 112

Velocidad, n_1 , RPM 1770

Unidad accionada, bomba centrífuga.
Velocidad de trabajo, RPM 1647

Tiempo de operación, horas-día 16

Temperatura ambiente, °C 30

PROCEDIMIENTO

RESULTADO

1. Factor de servicio, k_d 1.2
2. Potencia de diseño,
 $P_d = k_d \times P_{max}$, Kw 134.1
3. Tipo de banda, con P_d i N_1 Sección 5 V
4. Diámetros de las poleas: rela-
ción entre diámetro exterior y
diámetro primitivo, cm
 $D = D_p + 0.254$
 $d = d_p + 0.254$
5. Diámetros de la polea más peque-
ña, con $v < 2104$ m/min, cm
 $d = 31.75$
 $d = 31.50$
6. Velocidad lineal de la banda
 $V = N_1 \times d_p \times 20.0314$ m/min. 1750.7
7. Reducción de velocidad $i = n_1 / n_2$ 1.075
8. Diámetro de la polea mayor
 $D_p = i \times d_p$, cm 33.86

9. Distancia entre centro

$$C = \frac{D + 3d}{2}, \text{ cm} \quad 64.68$$

Longitud teórica de la banda:

$$L = 2C + 1.57 (D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C}, \text{ cm} \quad 234.2$$

10. Selección de la longitud 5 V 950

11. Distancia entre centro definitivo, cm

$$C = (K + (K^2 - 32(D-d)^2)^{1/2}) / 16, \text{ cm} \quad 68.5$$

$$\text{donde: } K = 4L - 6.28 (D+d) \quad 546.1$$

12. Tolerancia permitida para el montaje y compensación para el desgaste

$$C_{\min}, \text{ cm} \quad 65.96$$

$$C_{\max}, \text{ cm} \quad 72.31$$

13. Factor de corrección por longitud, K1

$$0.96$$

14. Factor de corrección por arco de contacto, K2

$$k_2 = 1.0$$

$$\text{para } (D-d)/c \quad 0.942$$

$$\text{ángulo,} \quad 180^\circ$$

15. Máxima potencia de transmisión por banda, para

$$n_1 = 1800 \text{ RPM}$$

$$d = 31.75 \text{ cm}$$

$$i = 1.075$$

$$r = 19.11 + 0.38, Kw \quad 19.44$$

16. Número de bandas requeridas

$$I = Pd/Pr \times K_1 \times K_2 \quad 7.18$$

Resultado = 8 bandas, 5V-750

Referencia: Catálogo técnico de bandas en V: TRELLEBORG

Diseño del contra-eje:

para: Potencia transmitida, Kw 111.8

Revoluciones por minuto 1647

Diámetro de la polea, cm 33.86

a. Momento torsional, Mt

$$Mt = Kw \times 956422 / RPM, \text{Newt-cm} \quad 64523$$

b. Momento flector, Mb

$$F = Mt \cdot 2/D, \text{Newt} \quad 3773$$

$$Mb = F \times e/2, \text{Newt-cm} \quad 38334$$

c. Diámetro del centro-eje en el punto crítico, F.

Factor combinado de choque y fatiga por momento flector, Km 2

Factor combinado de choque y fatiga por momento torsional, Kt 1.5

Sh, esfuerzo seguro al corte, Newt/cm² 4143

$$5.093$$

$$d = \frac{5.093}{Sh} \times ((Km \times Mb)^2 +$$

$$(Kt \times Mt)^2)^{1/3}, \text{ cm} \quad 5.34$$

Se seleccionó, como material, un acero ASSAB 705,
AISI/SAE4337, de 60 mm de diámetro.

Resistencia a la tracción (Rm) 98-110 Kgr/mm².

Selección de los rodamientos y chumaceras para el
contraeje: referencia: catálogos de rodamientos
SKF. Se requiere rodamientos a rótula, soportes
de pie para rodamientos con manguito de fijación.

Para: Carga radial, Newt	3773
Velocidad, RPM	1647
Duración mínima, hrs	25000
Diámetro del eje, mm	55

RESULTADOS:

Seguridad de carga, C/P	14.5
Capacidad de base requerida, C, Newt	54709
Rodamiento, SKF	22212 CK
Capacidad base, C, Newt.	106000
Chumaceras, SKF	SNA 512
Manguito de fijación, SKF	H 312

Selección del Acople-Flexible

DATOS:

Potencia transmitida, Kw	111.8
Velocidad, RPM	1647
Equipo accionado	Bomba
Centrífuga	

Diámetro del eje del motor, cm

8,6

Procedimiento

Resultados

Factor de servicio

1.25

Potencia equivalente, Kw

139.7

Acople base, FALK

80 T 20

Máximo hueco, cm

7.62

Acople seleccionado finalmente 90T20 con un diámetro máximo de hueco de 8,85 cm.

Referencia: Manual de "Acoples FALK"

BOMBA # 2: BOMBA GOULDS

Modelo 5000

Diseño de la transmisión: Poleas-banda en V.

DATOS

Unidad motriz: motor eléctrico, c.a.

Potencia máxima, Kw

111.8

Velocidad, n_1 , RPM

1770

Unidad accionada, bomba centrífuga

Velocidad de trabajo, RPM

947

Tiempo de Operación, hr/día

16

Temperatura ambiente, °C

30

PROCEDIMIENTO	RESULTADOS
1. Factor de servicio, K_d	1.2
2. Potencia de diseño, $P_d = K_d \times P_{max}$, Kw	134.1
3. Tipo de banda, con P_d i n_1	5V
4. Diámetros primitivos de las poleas, cm	$D = D_p + (0.254)$ $d = d_p + (0.254)$
5. Diámetro de polea más pequeña, para $V < 6700$ pie/min, cm	$d = 25.4$ $d_p = 25.15$
6. Velocidad lineal de la banda, V , m/min	1406.5
7. Relación de velocidad, $i = n_1/n_2$	1.8778
8. Diámetro de polea mayor	
$D_p = d_p \times i$, cm	47.29
$D = D_p + 0.10$, cm	47.47
9. Distancia entre centros mínima, cm	
$C = (D + 3d)/2$, cm	61.94
10. Longitud teórica de la banda	
$L = 2C + 1.57(D + d) + (D - d)^2/4C$, cm	236.8
11. Selección de la banda	5 V 950

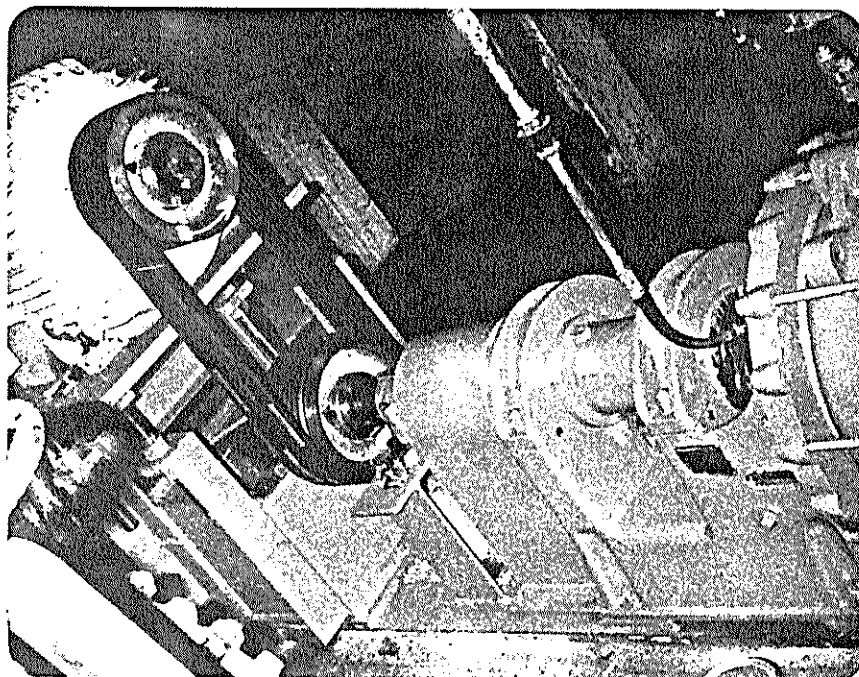


Fig. 3.9 Implementación para la bomba Modelo
NPK 150 - 400



Fig. 3.10 Implementación para la bomba Modelo 5000

12. Tolerancia permitida para el montaje y compensación por desgaste

C_{min} , cm 59.97

C_{max} , cm 66.34

13. Factor de corrección por longitud, K_1 0.96

14. Factor de corrección por arco de contacto, K_2 0.95

15. Máxima potencia de transmisión por banda, para:

$n_1 = 1800$ RPM

$d = 25.4$ cm

$i = 1.9778$ 16.4

16. Número de bandas requeridas

$Z = Dd/Pr \times K_1 K_2$ 8.96

RESULTADO: $Z = 9$ bandas, 5V-950

REFERENCIA: Catálogo de bandas en V"

TRELLEBORG

PROCEDIMIENTOS PARA LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las bombas fueron probadas con agua, llenando el tanque de alcalinización, registrando la variación de descarga del tanque en tubo graduado adaptado en la pared del tanque, midiendo el tiempo con un cronómetro, Fig. 1.

El cabezal de descarga total es determinado con un manómetro, ubicado en la descarga de la bomba,

cerrando completamente la válvula de descarga y corrigiendo la altura desde el centro de la bomba al manómetro y el cabezal de velocidad en el manómetro.

El flujo puede ser variado por una válvula de estrangulación, la eficiencia de la bomba es calculada, sobre los datos de pruebas.

PROCEDIMIENTO SEGUIDO

1. Abrir las válvulas de succión, descarga y poner el funcionando la bomba.
2. Registrar la presión de descarga, succión, velocidad del motor y bomba, potencia de entrada, tiempo, y registrar diferencias de nivel del tanque.
3. Se prueba para una serie de condiciones de estrangulamiento de la válvula de control.

3.3 ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO

En resumen el nuevo sistema operará de la siguiente manera:

Bomba (tamaño)	hrs/día	lts/min	Kw/hr
# 1, 150/400	14-16	6500	90
# 2, 150/600	6-8	4500	95
# 3, 100/130/420	6-8	2000	35

Las bombas #s. 2 y 3, trabajarán en paralelo para proporcionar el caudal requerido.

El consumo máximo de energía por día es: 2480 Kw.
 Los consumos de energía, para los dos sistemas para una temporada promedio de 2500 hs-zafra es:

INSTALACION	Anterior	Nueva
Potencia, Kw	485.000	258.333
Diferencia, Kw	146.667	

Costo de Inversión de las nuevas bombas es:

	Bomba # 1 Tam: 150/400	Bomba # 2 Tam: 150/600
Valor, \$	12.300	13.990
Transmisión \$	2.200	1.890
Flete \$	700	1.004
Total, \$	15.200	16.884

TOTAL DE INVERSION: \$ 32.084

Cabe anotar que no se incluye, en este análisis los costos de los elementos motrices, tuberías, accesorios e instrumentación, pues son los mismos de la instalación anterior.

Con el objeto de evaluar el costo de la producción

perdida en el caso de paro de emergencia del proceso,
es necesario determinar su valor por hora:

Producción anual, qq	2000.000
Precio Unitario, \$	12
Costo de producción, \$ qq	8
Pérdida neta, \$/ hora	3200

Los Costos de Operación de las instalaciones, por
temporada de 2500 horas/año :

INSTALACION	NUEVA	ANTERIOR
Energía, \$	7750	12.150
¹ Aceite, lubricante, \$	440	960
² Mantenimiento:		
- Mangas, \$	1317	4.554
- Anillos de desgaste, \$	460	6.700
- Empaque, \$	120	892
- Flechas	-	1.037.6
- Rodamientos	-	306.84
- Reparación de caja	-	240
Con soldadura		
- Mano de obra	100	1.000
- Impulsores	-	12.014
TOTAL	10.187	³ 39.854.44

¹ El consumo de aceite: 0.02 galones por cada 100 hp de
fuerza motriz por cada hora y por cada par de
rodamientos, a \$ 4/galón.

² Estos valores son tomados de las estadísticas de mantenimiento de las unidades y sus valores monetarios de los ingresados a bodega: precios de importación directa, a continuación se transcriben estos valores unitarios.

INSTALACION: ANTERIOR

BOMBA	3405, (tamaño) 6 x 18 x 17	K 4/5, (tamaño) 100/130/420
Impulsores, \$, c/u	4057	3980
Flechas, \$ c/u	2598	270
Mangas, \$ c/u	2494	260
Anillos de desgaste, \$/juego	220	230
Rodamientos, \$ c/u	12.54	13.54

INSTALACION NUEVA

BOMBA	UNIDAD: 5000 150/680	NPK 150/400
Impulsor, \$, c/u	3797	2733
Rodamientos, \$c/u	209	279
Platos de desgaste		
número 1: \$c/u	3020	2476
número 2: \$ c/u	2960	2464
Mangas, \$, c/u	417	420

3A este valor de operación, se debe agregar la pérdida neta por parada de emergencia: \$3200/hr. Comparando el valor de la inversión inicial para adquirir las nuevas bombas con los costos de operación de la instalación anterior, tenemos:

COSTO DE OPERACION, \$	39854,44
DE LA INSTALACION ANTERIOR	+ 3200/hora
INVERSION, DE LAS NUEVAS	
BOMBAS , \$	32.084
DIFERENCIA:	7770 + (3200/hr)

Lo que indica que la inversión se recupera, fácilmente en una temporada de zafra. Por los resultados observados en las tres temporadas de funcionamiento de la nueva instalación, se estima que la vida útil de los impelentes y platos de desgaste, superará los diez años; en lo que respecta a la bomba K 4/5, su desgaste está controlado, estimándose la vida útil de cada impelente en unos cinco años, los anillos de desgaste y mangas en un año; las mangas de las bombas son recuperadas, con el proceso de remetalición, a un costo de un 15% de costo de cada manga.

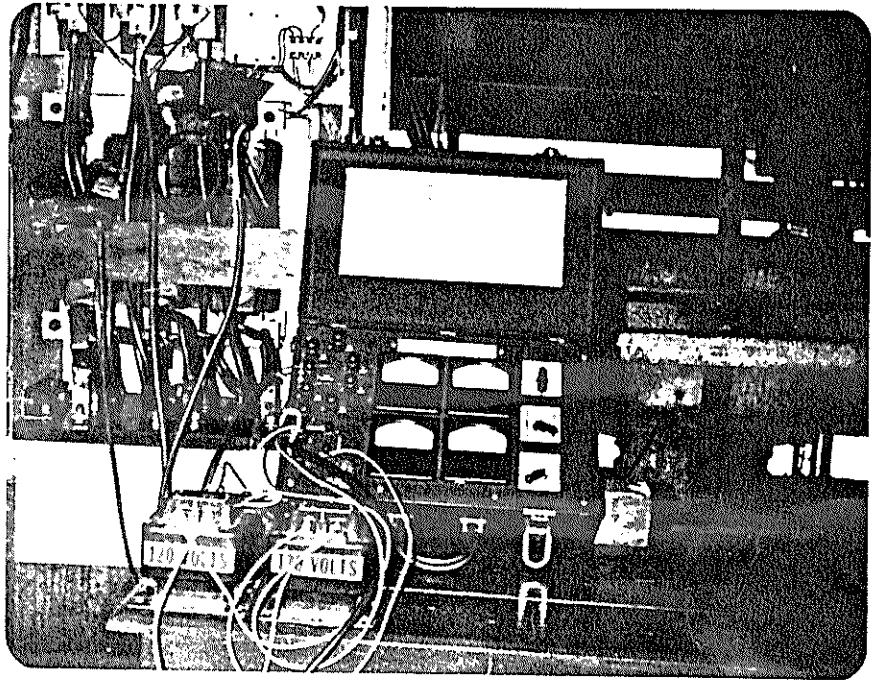


Fig. 3.11 Instrumento para medir: amperaje, voltaje y potencia

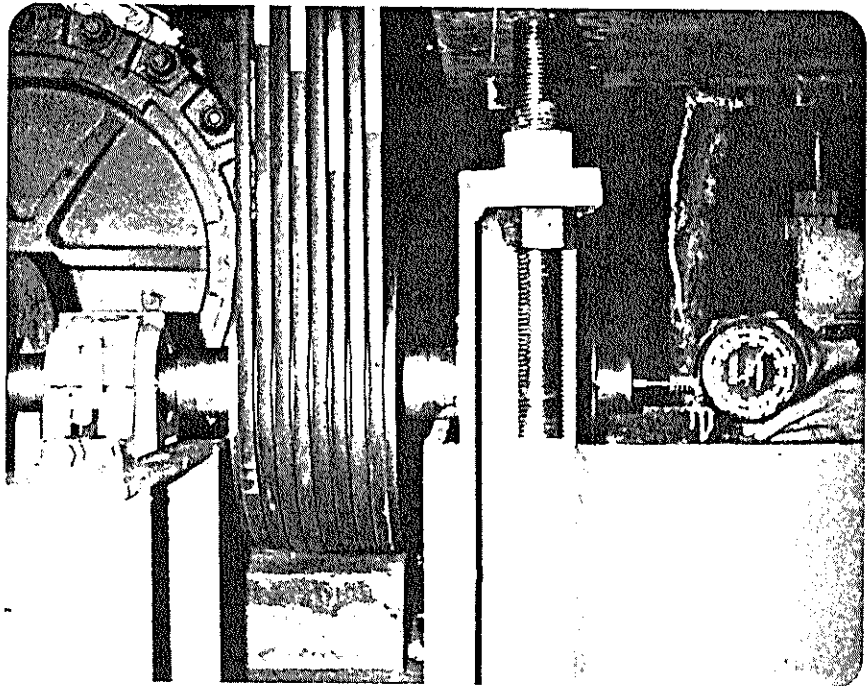


Fig. 3.12 Lectura de la velocidad de la bomba con un tacómetro de puntas

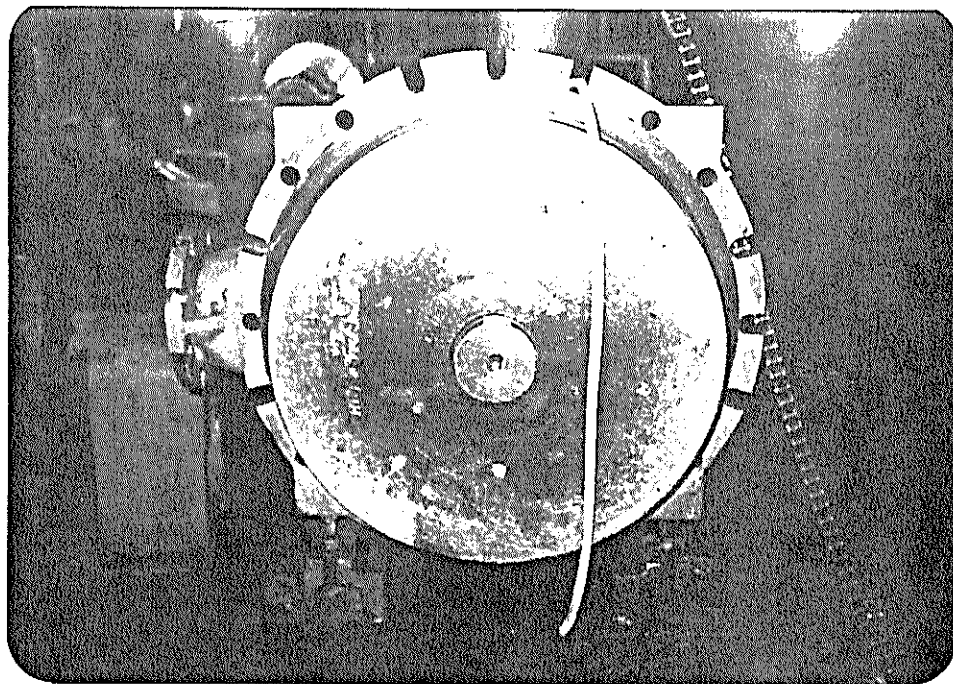


Fig. 3.13 Platos de desgaste de la bomba después de tres años de funcionamiento

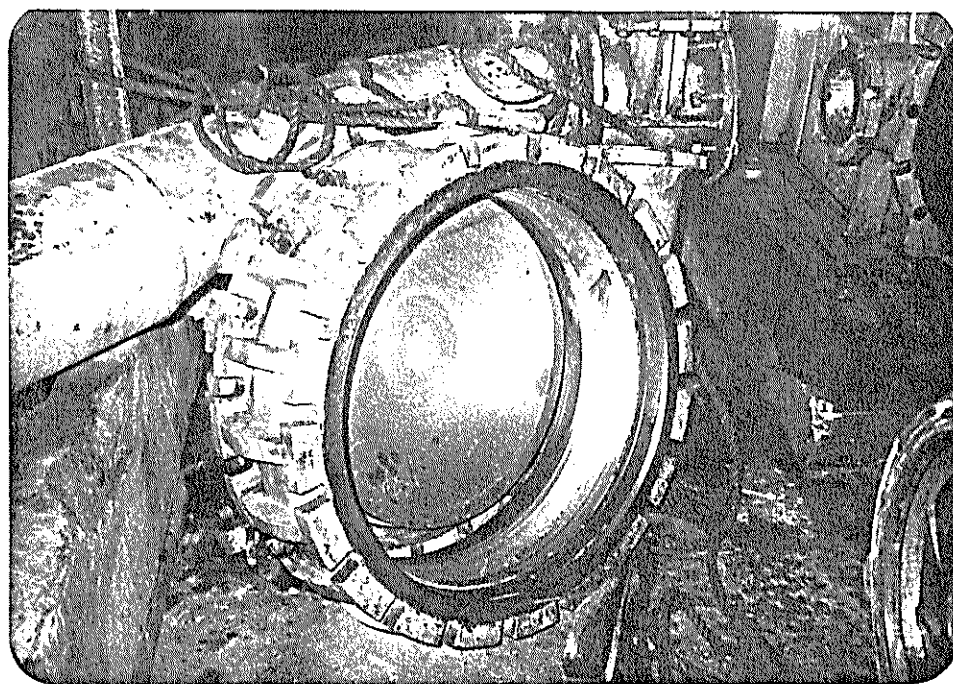


Fig. 3.14 Cajas de la bomba Modelo 5000, después de tres años de funcionamiento

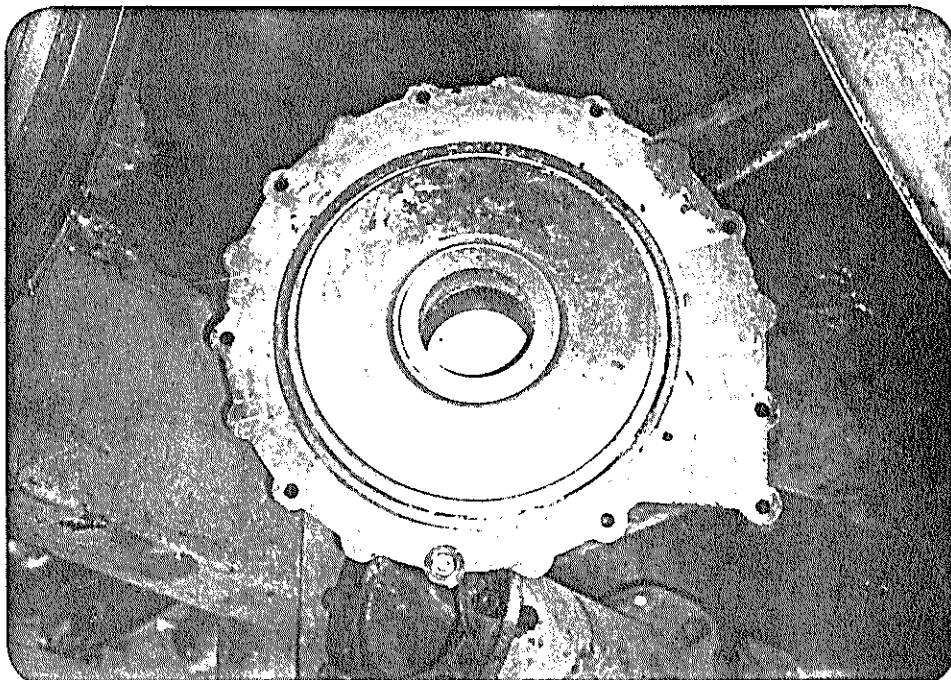


Fig. 3.15 Plato de desgaste de las bombas NPK 150-400 después de tres años de funcionamiento



Fig. 3.16 Mangas de las bombas NPK-150-400: nuevas, remetalizada y desgastadas

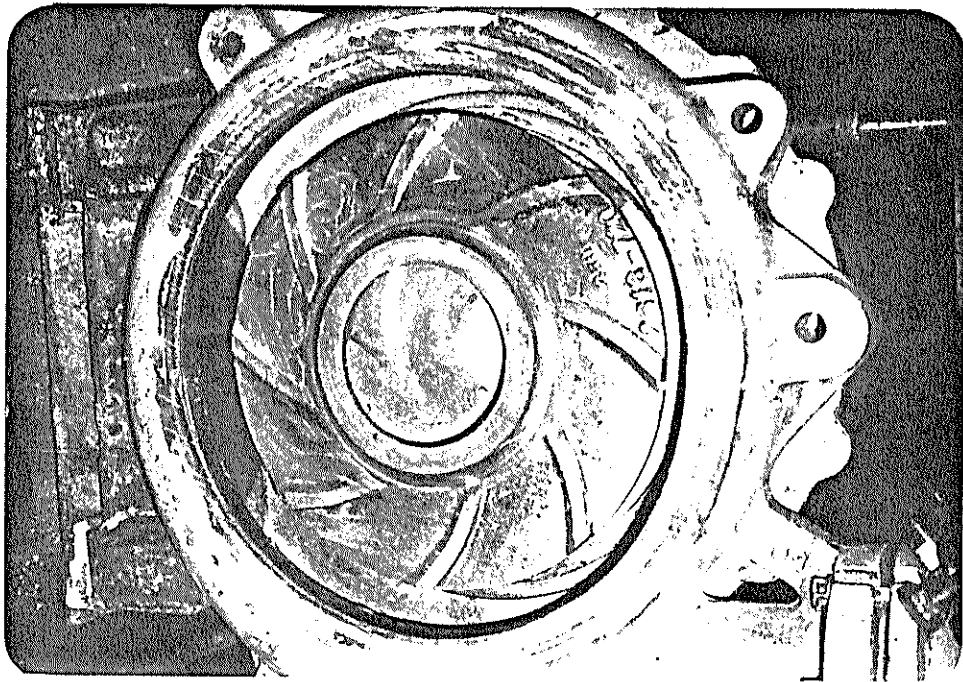


Fig. 3.17 Impulsor de la bomba NPK 150-400 después de tres años de funcionamiento

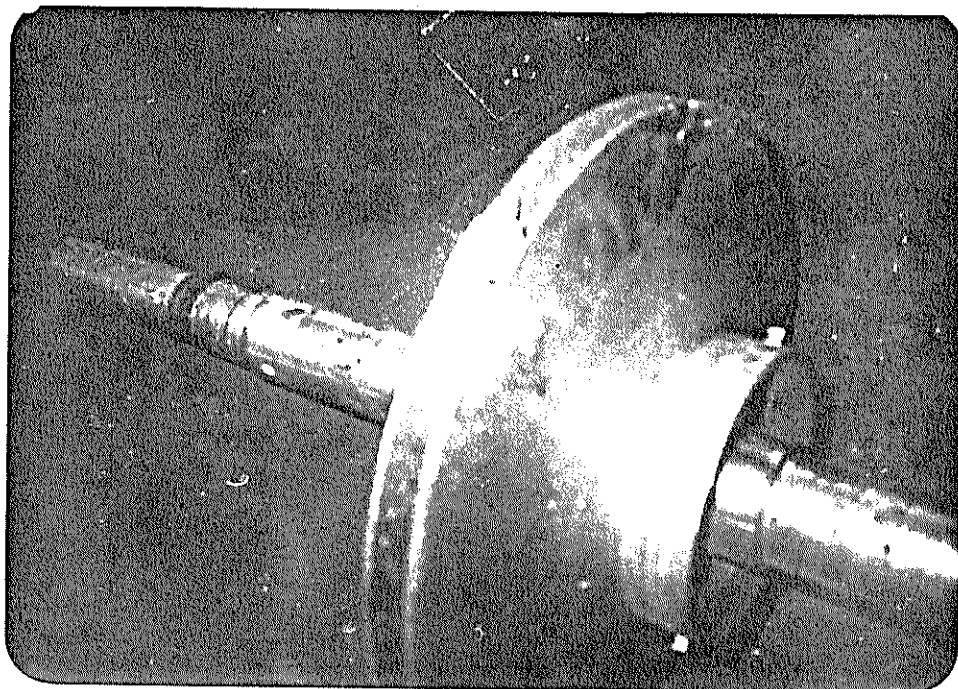


Fig. 3.18 Impulsor de la bomba auxiliar después de tres años de funcionamiento

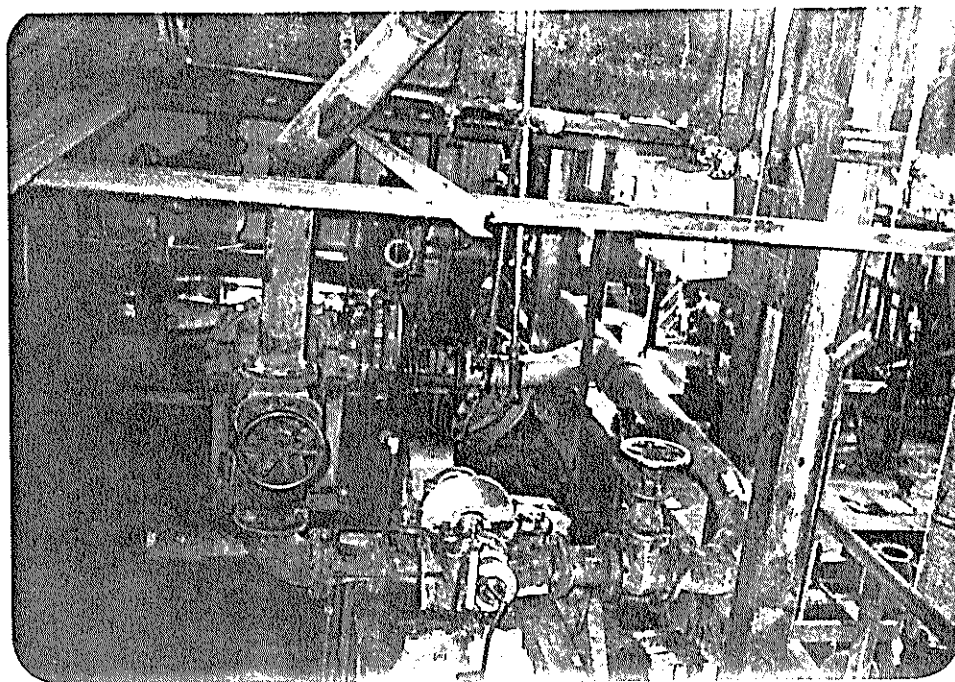


Fig. 3.19 (a) Bombas y tuberías de Succión

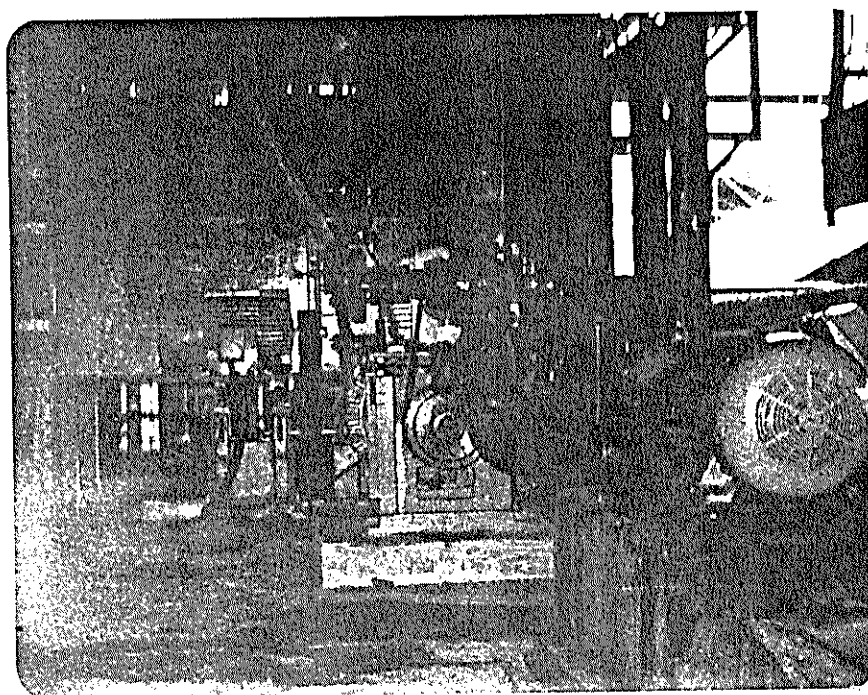


Fig. 3.19 (b) Bomba lista para trabajar

VISTAS GENERALES DE LAS BOMBAS INSTALADAS

CONCLUSIONES

1. Existe un exceso, en la estimación de la pérdida de presión por fricción en tuberías y equipos, lo que originó la selección de bombas de más capacidad.
2. Se consideró factores de seguridad excesivos para la carga total, lo que determinó sobre-dimensionar las bombas e inclusive las bombas adquiridas para reemplazar las instaladas.
3. En la selección del material de las bombas se consideró sólo el efecto corrosivo, pero no el efecto abrasivo de los sólidos en suspensión: arenas y cenizas.
4. El tipo de bomba utilizada no es la recomendada, pues para manejar líquidos con abrasivos se recomienda el uso de bombas horizontales, con una succión lateral, baja velocidad y diámetro lo más grande del impulsor.
5. No se determinó el comportamiento requerido por las bombas y su respectiva determinación de la velocidad de operación.
6. Con las modificaciones realizadas, se ha disminuido al mínimo los tiempos y costos de mantenimiento de las bombas.

7. Se ha eliminado los tiempos de paralización del proceso, ocasionados por fallas de operación y daños mecánicos de las bombas.
8. Se ha logrado un ahorro energético, con el uso eficiente de las bombas en el orden de un 50%, lo que representa aproximadamente 250.000 KW por temporada de 2500 horas de operación.

RECOMENDACIONES

1. Reemplazar la bomba auxiliar por una bomba de acero martensítico tales como, Ni-Hard (4% de Níquel, 2% de Cromo), o la aleación 15/3 (15% de Cromo, 3% de molibdeno), o bombas recubiertas de hule o uretano; tipo horizontal, una sola succión y baja velocidad.
2. Utilizar una transmisión con bandas y poleas para la bomba auxiliar.
3. Utilizar unidades motrices de velocidad ajustable, y de esta forma ahorrar energía.
4. Usar válvulas de recirculación con regulación automática.

BIBLIOGRAFIA

MANUAL DE BOMBAS: KARASSIK, - KRUTZCH-FRASER-MESSINA, 1983. DISEÑO, APLICACION, ESPECIES. OPERACION Y MANTENIMIENTO.

PUMP SELECTION AND APPLICATION, TYLER G. HICKS, BME, 1976

MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS. CLAUDIO MATAIX, 1976

FANS, VOLUME 1. M.S. BILLINGTON AND E. OWER, 1977

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. DONALD Q. KERN, 1982

MANUAL PARA INGENIEROS AZUCAREROS. E. HUGOT, 1976

CURSO DE MAQUINAS HIDRAULICAS, MIGUEL REYES AGUIRRE, 1968

BOMBAS: SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO, KENNETH MC. NAUGHTON, 1984

CALCULO AZUCARERO, SENEN VIEGO DELGADO, CUBA, 1953

CATALOGO DE ACEROS ESPECIALES, ASSAB SKF STEEL SANDVICK.

CATALOGO DE BANDAS TRELLERBORGES GUMMIFABRIKS AB

CATALOGO DE RODAMIENTOS SKF

CATALOGO DE ACOPLERES, FALK

CATALOGO DE BOMBAS GOULDS

REVISTA: CHEMICAL ENGINEERING, OCTOBER 4, 1982

REVISTA: HYDROCARBON PROCESSING, JUNIO 1978

REVISTA: CHEMICAL, ENERO 5, 1976

REVISTA: POWER, OCTUBRE 1985