



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



**"MODIFICACION DE UN SISTEMA DE CONDENSADO
DE HEXANO DE UNA PLANTA ACEITERA"**

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

Presentado por:
Luis Eduardo Morales Díaz

Guayaquil - Ecuador
1989

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

Al ING. ERNESTO MARTINEZ L.
por su valiosa y desinteresada
ayuda en la elaboración del
presente Informe Técnico.

B I B L I O G R A F I A

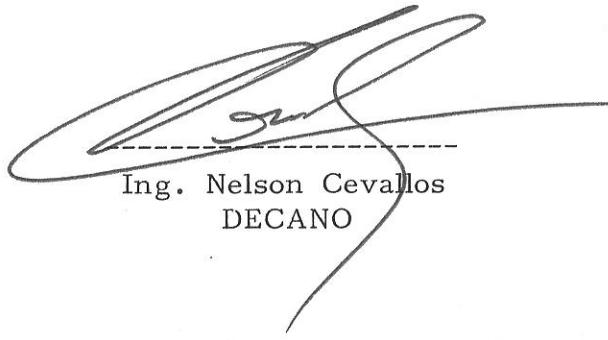
1. E. BERNARDINI, Tecnología de Aceites y Grasas, Alhambra, México, 1981, 204 p.
2. A. E. BAILEY, Aceites y Grasas Industriales, Reverte, Argentina, 1979, 74 p.
3. SHEPPARD T. POWELL, Acondicionamiento de Agua para la industria, Limusa, 1970, 108 p.
4. M. GUTIERREZ ALVAREZ, Recubrimientos Protectores para Construcción Nueva y Mantenimiento Industrial, ASC, México, 1982, 46 p.
5. ADALBERTO GORBITE, La Preparación de Informes, Espol, Costa Rica, 1964, 16 p.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJO



Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR INFORME



Ing. Francisco Santelli
MIEMBRO TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

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

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



Luis E. Morales D.

R E S U M E N

La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de un solvente, es un procedimiento que se usa en la casi totalidad de las plantas que trabajan estos productos. Uno de los solventes de mayor uso es el hexano (C_6H_{14}), un hidrocarburo saturado y uno de los más aptos para la extracción de aceite.

Nuestra planta utiliza hexano como solvente y las semillas que se procesan son: soya y palmiste, y eventualmente algodón.

Un proceso de extracción en general se lo puede esquematizar como se ve en la figura 1.

Considerando que el hexano es inflamable y sus vapores forman una mezcla detonante con el aire, éste debe ser recuperado eficientemente. Además, siendo una materia prima de un costo considerable su consumo no debe exceder los valores normales para estos tipos de planta.

El material de mi informe se relaciona al sistema de condensación de vapores de hexano que provienen de la destilación de la miscela y de solventización de la harina. Más específicamente me concentro en los condensadores mismos, los problemas de corrosión y erosión que provocaba el uso del agua del río, los altos costos de reparación que implicaban y las pérdidas de producción a que conducían estos problemas.

Realizo un estudio de varias alternativas e incluso aplico algunas de ellas, siempre buscando tres objetivos básicos:

1. Mejorar la seguridad de una planta.
2. Evitar daños en los equipos.
3. Recuperar la mayor cantidad del solvente.

Posteriormente, se optó por una solución definitiva, la cual se aplica; y finalmente, hago una evaluación de la misma.

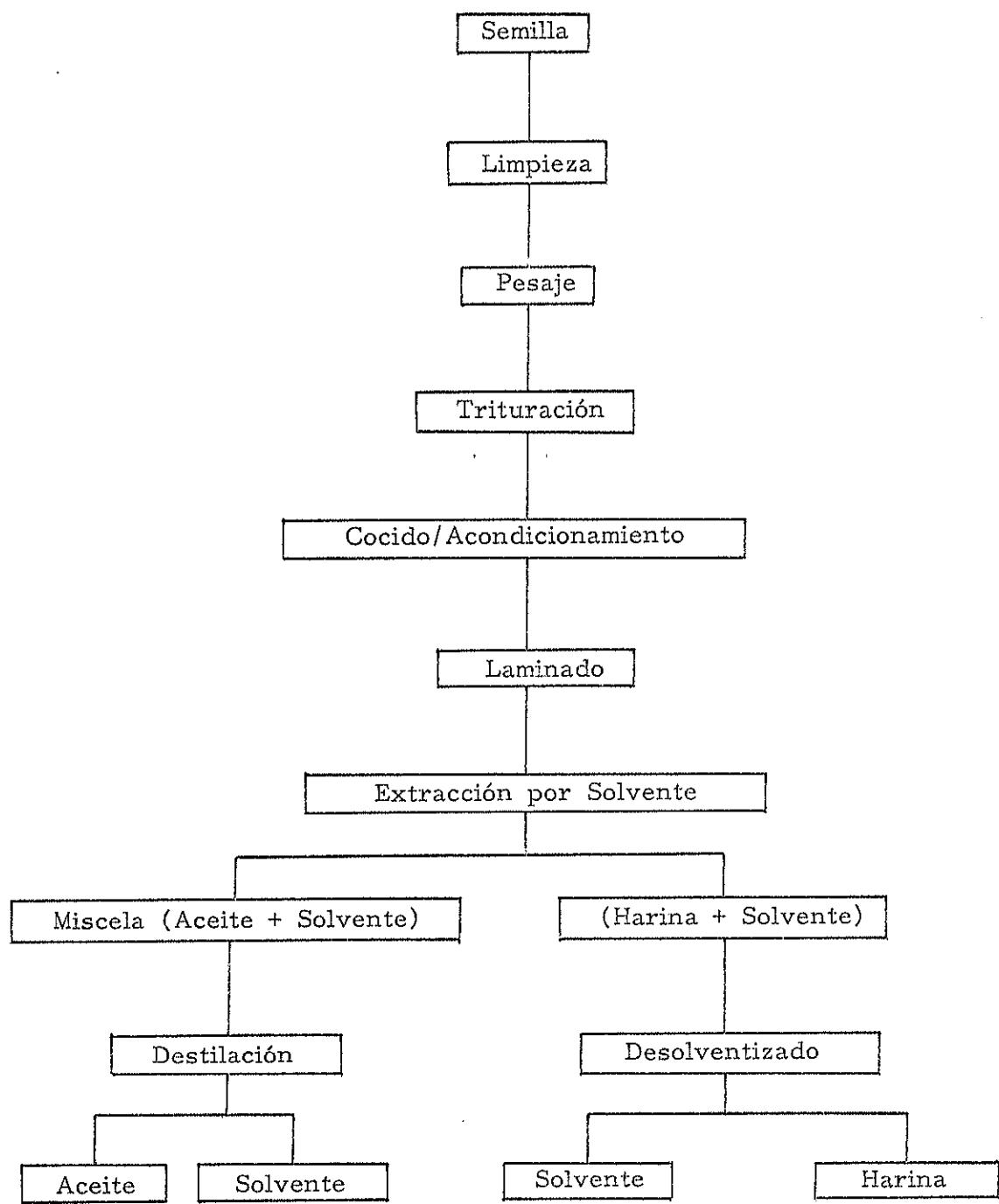


FIGURA N° 1

I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
RESUMEN	VII
INDICE GENERAL	X
ANTECEDENTES	12
I. DESCRIPCION DEL SISTEMA	14
1.1. Función de los equipos	14
1.1.1. Proceso de Extracción	14
1.1.2. La Desolvantización	16
1.2. Problemas de Funcionamiento	21
1.3. Costos de Reparación	24
II. ALTERNATIVAS DE SOLUCION	27
2.1. Modificación de los Condensadores	27
2.2. Tratamiento Anticorrosivo	32
2.1.1. Tratamiento del agua de río	32
2.1.2. Protección anticorrosiva	35
2.3. Reparaciones Periódicas	36
2.4. Condensación mediante el uso de agua potable	36
III. CONSIDERACIONES TECNICAS DEL USO DEL AGUA POTABLE.	38
3.1. Cálculo del Circuito	38
3.2. Dimensionamiento de una Torre de Enfriamiento	45
3.3. Dimensionamiento del Equipo de Bombeo	50
3.4. Consideraciones de Montaje	55

	Pág.
IV. EVALUACION DE LA SOLUCION PROPUESTA	61
4.1. Inversiones efectuadas	61
4.2. Costo actual de Mantenimiento	62
4.3. Análisis de Resultados	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
APENDICES	72
BIBLIOGRAFIA	76

A N T E C E D E N T E S

La utilización del solvente (hexano) en plantas aceiteras requiere de mucho cuidado, debido al riesgo que entraña su utilización.

El consumo de solvente es un factor importante en el balance de explotación de una instalación de este tipo, tomando en cuenta su costo considerable.

La capacidad máxima de producción de esta planta es de 200 tons/día de soya y 80 tons/día de palmiste, y el trabajo debe ser continuo. Resulta inconveniente paralizar la producción, debido a que los aceites obtenidos son de suma importancia para la elaboración de productos como aceite y manteca, que son de primera necesidad, así como la harina de soya, que por su alto contenido proteínico tiene buena demanda para la elaboración de balanceados. Esto se acentúa más en los meses de cosecha, puesto que se necesita procesar la mayor cantidad al más corto tiempo, a fin de poder receptar al máximo la semilla cosechada.

El solvente (hexano) entra en contacto directo con la semilla y luego es separado por evaporación y recuperado, condensándolo en un circuito cerrado.

La condensación se realiza en un banco de cuatro condensadores, en los cuales el medio de enfriamiento es agua del río. El daño que sufrieron los condensadores, especialmente los tubos de los mismos, debido a varios factores como corrosión, erosión o taponamiento por acumulación de lodo no fueron pocos, y los gastos y pérdidas eran elevadas.

dos. Con esto, el costo de mantenimiento de esta Planta se vio incrementado en los últimos años, pasando los niveles presupuestados para un trabajo que siempre se quiere lo más económico posible.

Lo anterior es el motivo de este informe; lo cual es un estudio de los problemas y las alternativas a solucionarlos.

CAPITULO I

D E S C R I P C I O N D E L S I S T E M A

1.1 FUNCION DE LOS EQUIPOS

1.1.1 PROCESO DE EXTRACCION

Nos concentraremos aquí a hacer una breve descripción general del proceso de extracción de aceite a partir de la semilla, para comprender mejor el papel que cumplen los equipos para condensado del solvente y su importancia dentro del proceso.

La semilla es tratada en extracción directa después de una preparación adecuada, la cual consta de cuatro pasos básicos: limpieza, trituración, cocido y laminado. No se entrará en detalle en estos procesos pero se debe hacer notar que son factores importantes en el rendimiento de la extracción del aceite de la semilla.

El proceso básico de extracción se muestra en la figura 1.1. La semilla pretratada entra en el extractor mismo (3) y circula en una cinta transportadora lenta y de velocidad regulable. Encima de la cinta o tapiz existen unos dispositivos para rociado. Debajo de la cinta hay una serie de tolvas que recogen la mezcla de hexano y aceite (miscela) y cada tolva tiene su propia bomba de reciclado. Durante todo el trayecto la semilla es intensivamente bañada con miscela cada vez más pobre en aceite (rica en solvente) con la ayuda de las bombas de cada tolva. Finalmente, la semilla que ya contiene poco aceite es lavada con solvente fresco.

La semilla desaceitada o harina, cae en una tolva de descarga y es

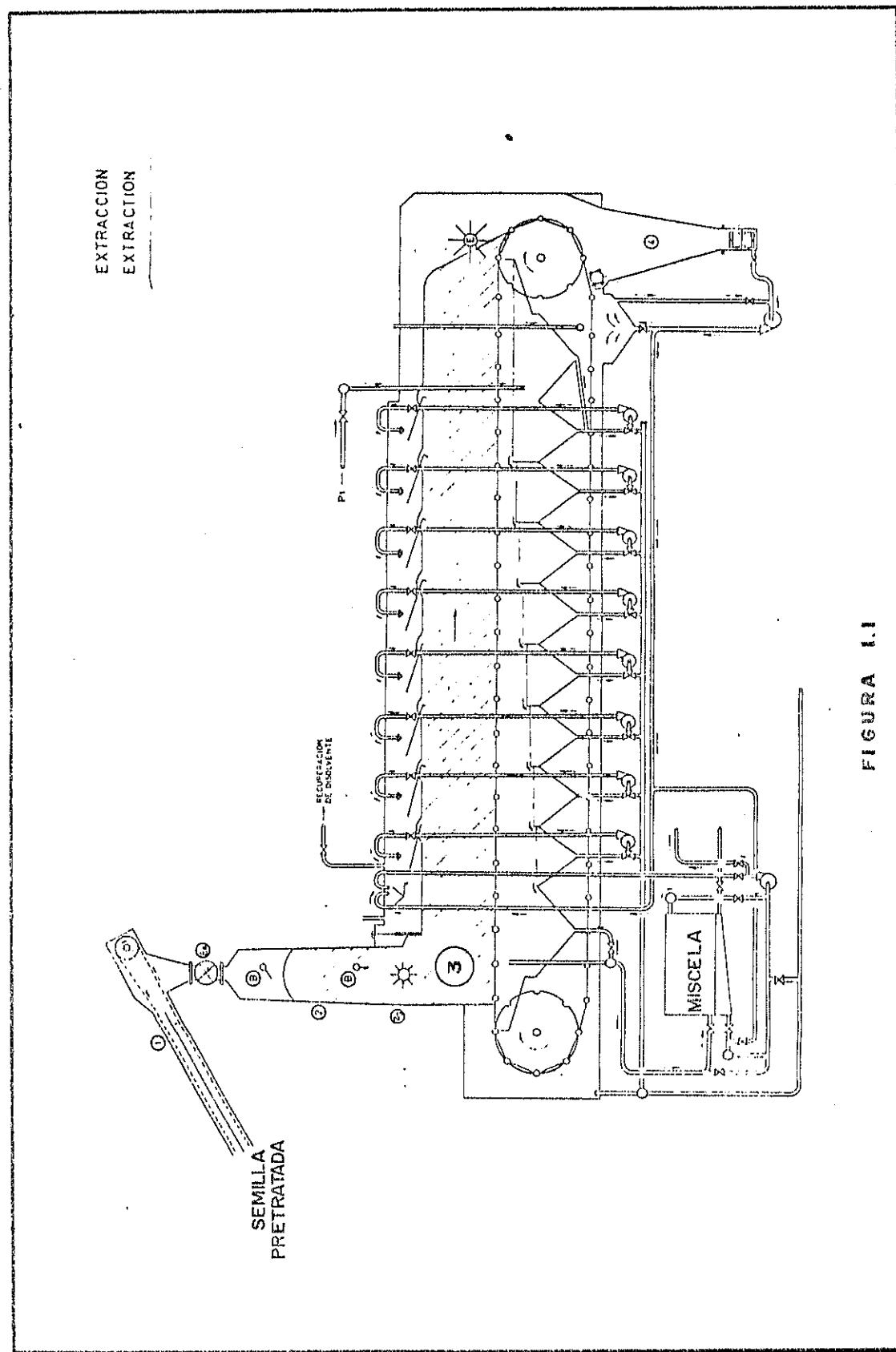


FIGURA 1.1

evacuada por un transportador.

Tanto la miscela (solvente + aceite), como la harina, necesitan ser desolventizadas, esto es, eliminando todo vestigio de solvente. La finalidad de esto es obtener aceites y harinas comerciables y de buena calidad.

A continuación se dará una tabla que muestra la performance normal de operación de la planta de extracción cuando trabaja con soya y palmiste, obviando el proceso de algodón que en los últimos dos años no se ha procesado y no representa un caso especial en el desarrollo de este informe.

TABLA 1.1 RENDIMIENTO NORMAL DE LA EXTRACCION

	Soya	Palmiste
Contenido de aceite (%)	17.5	48
Cantidad procesada (Tm/día)	185	80
Contenido de solvente en la harina (%)	30	30
Contenido de aceite en la harina (%)	1	1.5
Cantidad de miscela obtenida (lt/hr)	10.000	9.500

1.1.2 LA DESOLVENTIZACION

Como se anotó en la sección anterior, este proceso es tanto para la miscela como para la harina, sin embargo, en el caso de la miscela, se llama destilación y para la harina desolventización propiamente dicha.

El solvente es recuperado de la harina en equipos conocidos como de -

solventizadores, que es una torre con varias bandejas calentadas con vapor de agua. La harina es removida por la acción de palas giratorias y cae hacia la bandeja inferior y así sucesivamente hasta llegar a la última. Se recurre adicionalmente a la inyección de vapor directo a fin de recuperar al máximo las últimas trazas de solvente de la harina. Los vapores extraídos del desolventizador se recogen por vacío en un sistema de lavado (29) (ver figura 1.2) con agua caliente, la finalidad de esto es la de arrastrar por lavado partículas finas de harina que pueden escapar junto con los vapores, y, separar por condensación la mayor cantidad de vapor de agua.

De la tabla 1.1 se puede tener una idea de cuánto solvente por hora es necesario recuperar en el caso de la soya:

$$185 \text{ (Tm/día)} \times (1 - 0.175) \times 0.3 \times (1.000/24) = 1.908 \text{ Kg/hr}$$

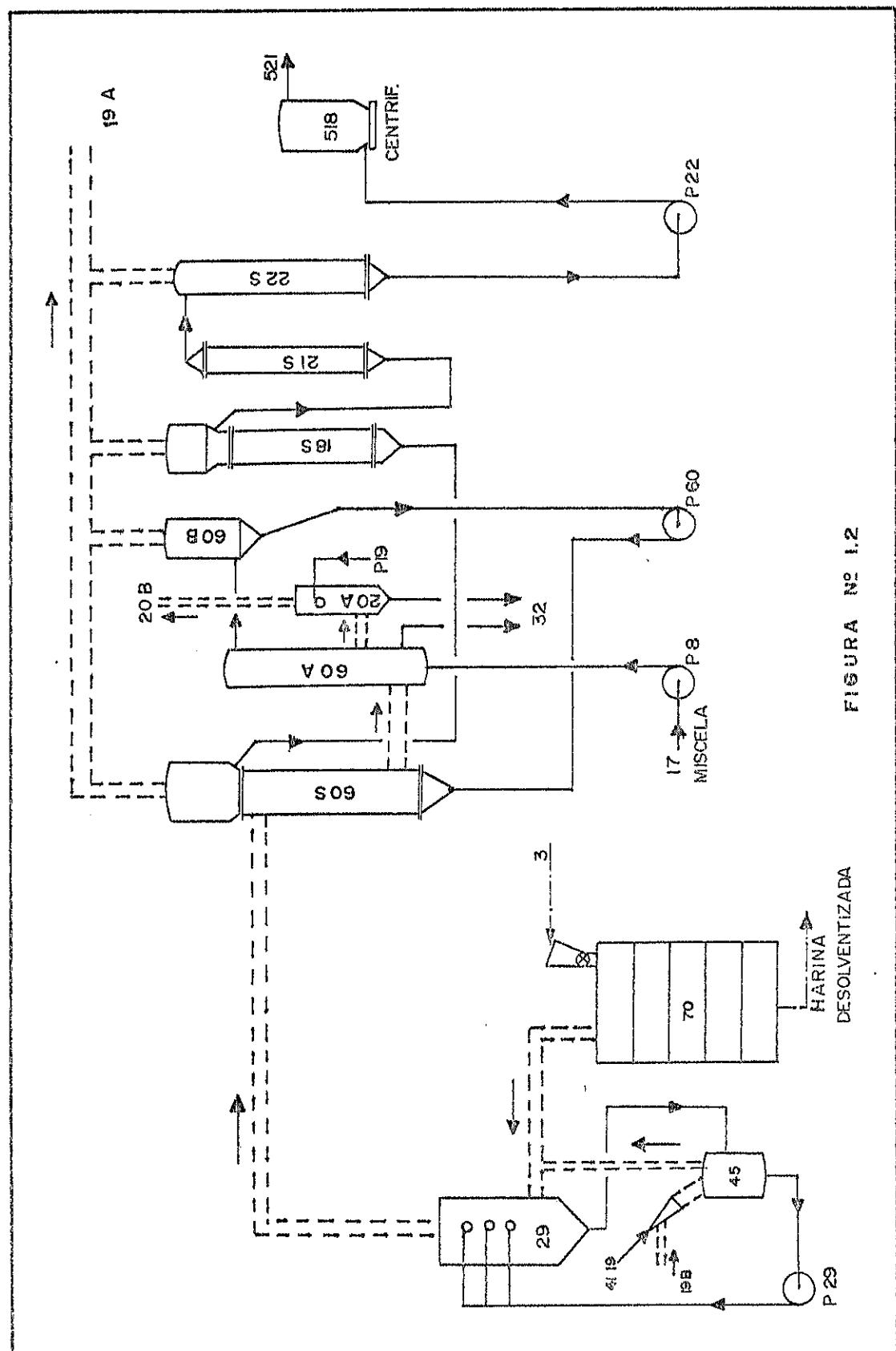
Una aceptable desolventización asegura entre un 0.1 a un 0.4 % de solvente en la harina final:

$$185 \times (1 - 0.175) \times (1.000/24) \times 0.004 = 25 \text{ Kg/hr de solvente no recuperado.}$$

De lo anterior se puede estimar que la cantidad de solvente que sale del lavador 29 es $1.908 - 25 = 1.883 \text{ Kg/hr.}$

La miscela pasa por rebose al tanque pulmón y de éste al sistema de destilación continuo, en los cuales es fundamental la temperatura y vacío (ver figura 1.2).

De la tabla 1.1 se puede determinar la cantidad de aceite contenida en la miscela: $185 \times 0.175 \times (1.000/24) = 1.384 \text{ Kg/hr.}$



No todo el aceite puede ser extraído de la harina, ésta normalmente sale con un 1 % de aceite, esto es: $185 \times 0.01 \times (1.000/24) = 64$ Kg/hr. El contenido de aceite se reduce a $1.348 - 64 =$

$$\underline{1.284 \text{ Kg/hr} (1.442 \text{ lt/hr})}$$

(Peso específico del aceite = 0.89). Ver apéndice A.

En el caso de soya se destilan 10.000 lt/hr de miscela con un contenido de solvente de: $10.000 - 1.442 = \underline{8.558 \text{ lt/hr}} = \underline{5.820 \text{ Kg/hr.}}$

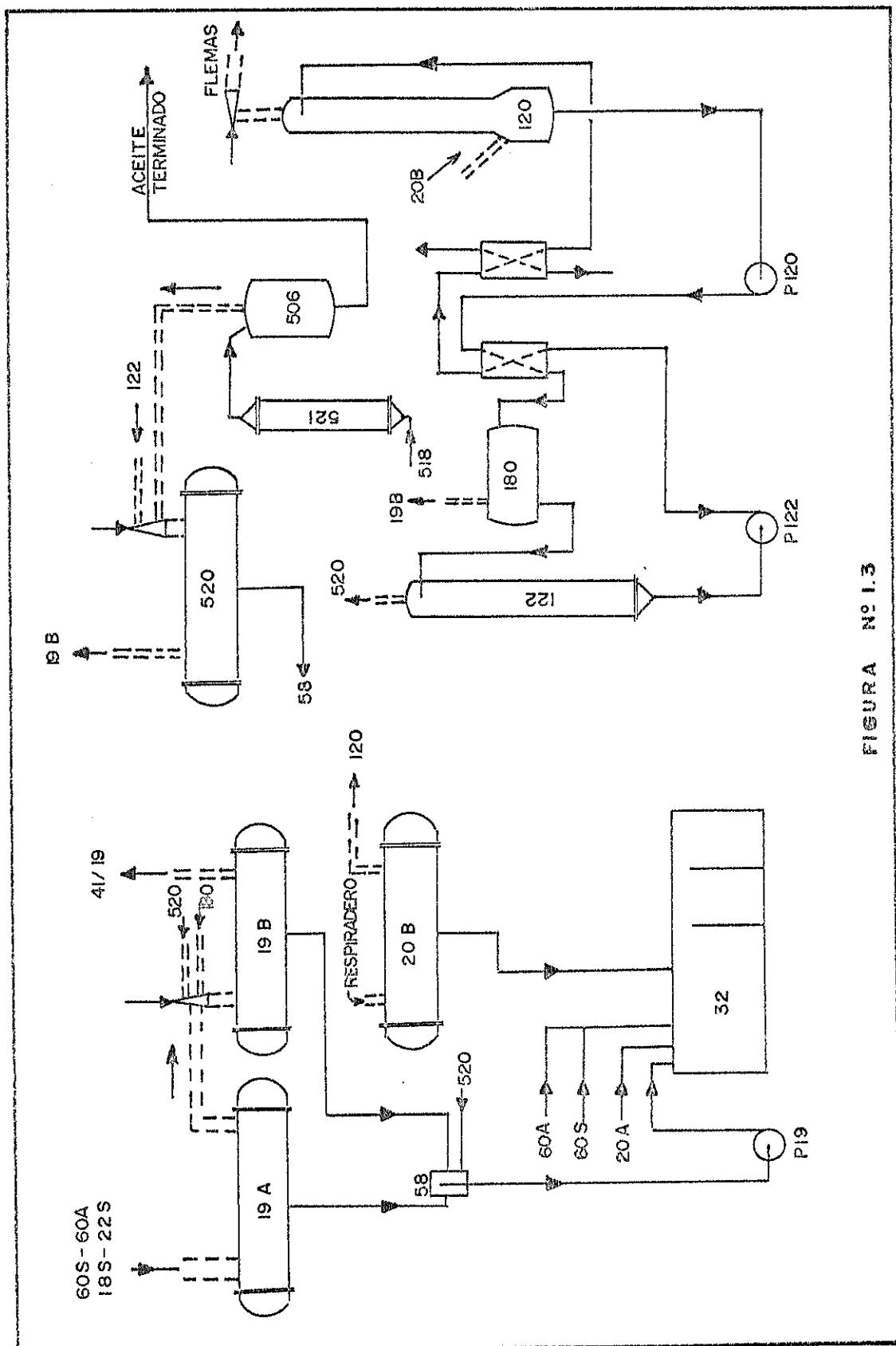
(Peso específico del hexano = 0.68). Ver apéndice B.

El sistema de destilación consiste primero de dos economizadores 60A y 60B que aprovechan el calor latente de vaporización que poseen los vapores que provienen del lavador 29.

Son 1.883 Kg/hr de hexano cuyo calor latente es 79.4 Kcal/Kg (Ver apéndice B), por lo cual se disponen de $1.883 \times 79.4 = 149.510 \text{ Kcal/hr.}$

Los vapores de solvente que entregan su calor latente y no logran condensarse, son bañados con condensado de hexano y agua desde la bomba P19 y caen al tanque de separación 32. (Ver figura 1.2).

La miscela que sale del economizador 60S pasa al destilador 18S, calentador 21S y destilador final 22S, en los cuales se utiliza vapor in directo para calentar la miscela y vapor directo de arrastre o de agotamiento, a fin de eliminar las últimas trazas de solvente. El aceite destilado es desgomado por centrifugación y se lo calienta y se ca a vacío para luego enfriarlo y almacenarlo, (Ver figura 1.3).



Son los condensadores 19A y 19B los que reciben la mayor carga y juntos con el 520 los que trabajan a un alto vacío. Es en cambio el condensador 20B el que trabaja a una ligera depresión.

Todos los condensadores igualmente descargan el condensado (solvente + agua) por gravedad al tanque de separación 32.

Estando todos los equipos trabajando a depresión, es muy difícil una estanquiedad completa, ya que no se puede evitar una entrada sistemática de aire en la instalación. Esto sucede ya que se manipula materia sólida que entra y sale de la instalación por válvulas rotativas que arrastran inevitablemente aire, a pesar del poco juego a que se ajustan las mismas.

Este aire es finalmente eliminado a la atmósfera en el circuito de recuperación final de solvente conocido como recuperación por absorción en el aceite (ver figura 1.3). Antes de ser evacuado el aire y una cierta fracción de solvente que no se condensó, se pone en contacto a contracorriente con un aceite que circula en circuito cerrado en la unidad de absorción (120), saturándose al máximo el aceite frío con el solvente y el aire es evacuado por el eyector 41/120 a la atmósfera. El aceite con trazas de solvente se calienta y con la ayuda de vacío se lo recupera en los condensadores 19B y 520.

1.2 PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO

Sin duda que los condensadores forman un equipo clave dentro del proceso, son los equipos que nos permiten recuperar el solvente apropiadamente en un circuito completamente cerrado, evitando des-

perdicios y situaciones de riesgo. Los condensadores son del tipo c
o
raza y tubo, en los cuales el medio de enfriamiento (agua de río) pa
sa a través de los tubos y los vapores por el exterior.

La utilización de agua de río es barata si se toma en cuenta que es una fuente inagotable y no necesita ser recuperada. Sin embargo, su utilización merece considerarse, tanto por el tipo de agua, así como por los medios adecuados para sedimentar los sólidos en suspensión, requiriendo que el material de los condensadores, especialmente los tubos, sean de materiales apropiados.

Varias fueron las condiciones que llevaron a producir problemas de corrosión en los tubos de los condensadores, entre los cuales se anotan:

1. Características del agua de río: La siguiente tabla da una idea de la calidad del agua que se utilizaba para el enfriamiento:

TABLA 1.2 ANALISIS DE AGUA DE RIO

PH	6.7
Cloruros como Cl	1.249 mg/lt
Sólidos totales	1.904 mg/lt
Sólidos suspendidos totales	166 a 500 mg/lt

2. Sedimentación: El agua de río pasa por la piscina de decantación, la cual solventaba 320 m³/hr y en los últimos años se ha aumentado a 605 m³/hr, todo esto sin que se pudiera ampliar la piscina debido a falta de espacio para hacerlo.

3. Materiales de construcción: Los tubos de los condensadores por

diseño son de acero inoxidable AISI 404 (DIN 14301) que si bien son de buena calidad, son atacados por el agua de río.

Hay que resaltar el hecho de que los tubos son recubiertos por el lado interior con una capa protectora (metalizado).

El metalizado consiste en un recubrimiento de aluminio resistente a la corrosión a manera de revestimiento. En realidad no se conoce el proceso de tal recubrimiento, pero siempre quedó la duda de que haya sido mal ejecutada.

Muchos fueron los problemas, tanto de picadura de los tubos que resultaba el más costoso, así como por taponamiento, debido a acumulación de lodo en los condensadores y las consecuencias se las puede enunciar como sigue:

1. Seguridad: Una mala condensación, ya sea por acumulación de lodos o por tubos rotos que se tuvieron que condensar, provocan altas temperaturas en las flemas que se evacuan a la atmósfera en el circuito de absorción. Esto es riesgoso considerando las características del hexano.

2. Pérdidas de producción: A pesar de que la planta puede procesar 200 Tm/hr máximo de soya y 80 Tm/hr de palmiste, ésta trabaja mejor a un promedio de 185 Tm/hr de soya. Esto sumado a los requerimientos de producción son de trabajo continuo (24 hr/día) y hay meses en que la planta no puede parar a fin de poder desocupar la mayor cantidad de espacio para lograr almacenar las semillas; parar la operación de la planta resulta en considerable pérdida para la empresa.

3. Gastos de operación y mantenimiento: Desde que un condensador se abre se tiene que prever el remplazo de los empaques de las tapas y empaques de las celdas de separación entre las etapas (los pasos) del condensador. En caso de tubos dañados, si éstos tenían que ser remplazados, esto representaba un alto costo. La mano de obra que tenía que ser contratada para la limpieza, cambio de tubos y ensayo hidrostático de cada tubo, es un rubro importante. Lógicamente las averías en los condensadores generan pérdidas de solvente y esto perjudica a la empresa.

1.3 COSTOS DE REPARACION

Es necesario al momento presentar un cuadro de daños surgidos en los últimos dos años, a fin de hacer un costeo de los gastos realizados básicamente por: materiales, repuestos y mano de obra. El cuadro especifica también el número de días aproximado que tomó cada reparación.

Basta considerar el año 1988 en el cual la planta paralizó sus operaciones 17 días en sólo siete meses (en agosto se implementaron las modificaciones).

Los gastos de mantenimiento de este centro de costo (extracción) hasta el mes de julio sumaban 15'300.000 sures. De la tabla 1.3 podemos observar que los gastos sólo en los condensadores sumaban 5'600.000 sures; lo cual representa casi el 37 % del total de gastos.

TABLA 1.3 CUADRO DE DAÑOS EN LOS CONDENSADORES

AÑO - 1987

Días	Condenador	Inspección Limpieza	Tubos Condenad.	Tubos Remplaz.	Gastos Realizad.
	520	Si			
9-12	19A	Si			
Enero	20B	Si			220.000.00
	19B	Si			
	520	Si	60		
20-23	19A	Si		17	
Marzo	20B	Si		2	3'695.000.00
	19B	Si		60	
	520	Si	32		
30-1	19A	Si			
Jul/Agt	20B	Si	5		230.000.00
	19B	Si			
	520	Si			
12-16	19A	Si			
Septb	20B	Si			
	19B	Si			
	520	Si	34		
15-16	19A	Si			
Octb	20B	Si	5		260.000.00
	19B	Si			
	520	Si	32		
20-23	19A	Si			
Novb	20B	Si			250.000.00
	19B	Si			

A N O - 1 9 8 8

	520	Si		
20-23	19A	Si		
Fb/Mz	20B	Si	14	620.000
	19B	Si		
	520	Si	39	
4-8	19A	Si		
Marzo	20B	Si		1'707.000
	19B	Si	28	
	520	Si	2	
13-16	19A	Si		
Abril	20B	Si		250.000
	19B	Si		
	520	Si	42	
10-15	19A	Si	40	
Julio	20B	Si	40	3'000.000
	19B	Si	40	

CAPITULO II

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

2.1 MODIFICACION DE LOS CONDENSADORES

Es necesario comenzar haciendo una breve descripción del circuito de agua de enfriamiento y citar las características técnicas más importantes de los cuatro condensadores, a fin de estudiar las posibles modificaciones a efectuarse. La figura 2.1 muestra la ubicación de los condensadores en planta y la tabla 2.1 las características de los mismos.

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS DE LOS CONDENSADORES

	<u>Condensadores</u>			
	520	19A	20B	19B
Número de tubos	80	480	320	160
Area total de transf. calor (m ²)	25	150	100	50
Número de pasos	2	6	4	2
Material de construcción de los tubos	Acero inoxidable AISI 304			
Longitud de tubos (m)	5.4	5.4	5.4	5.4
Diámetro interior de tubos (mm)	17	17	17	17
Diámetro exterior de tubos (mm)	19	19	19	19

La utilización de tubos de mejor calidad se presentó como la única modificación posible en los condensadores.

Si bien el material original es AISI 304 (0.08C, 2 Mn, 18 Cr, 8 Ni) y tiene un metalizado interior que a decir de los fabricantes ha dado buen resultado, era obvio que la capa protectora, o no fue bien realizada o

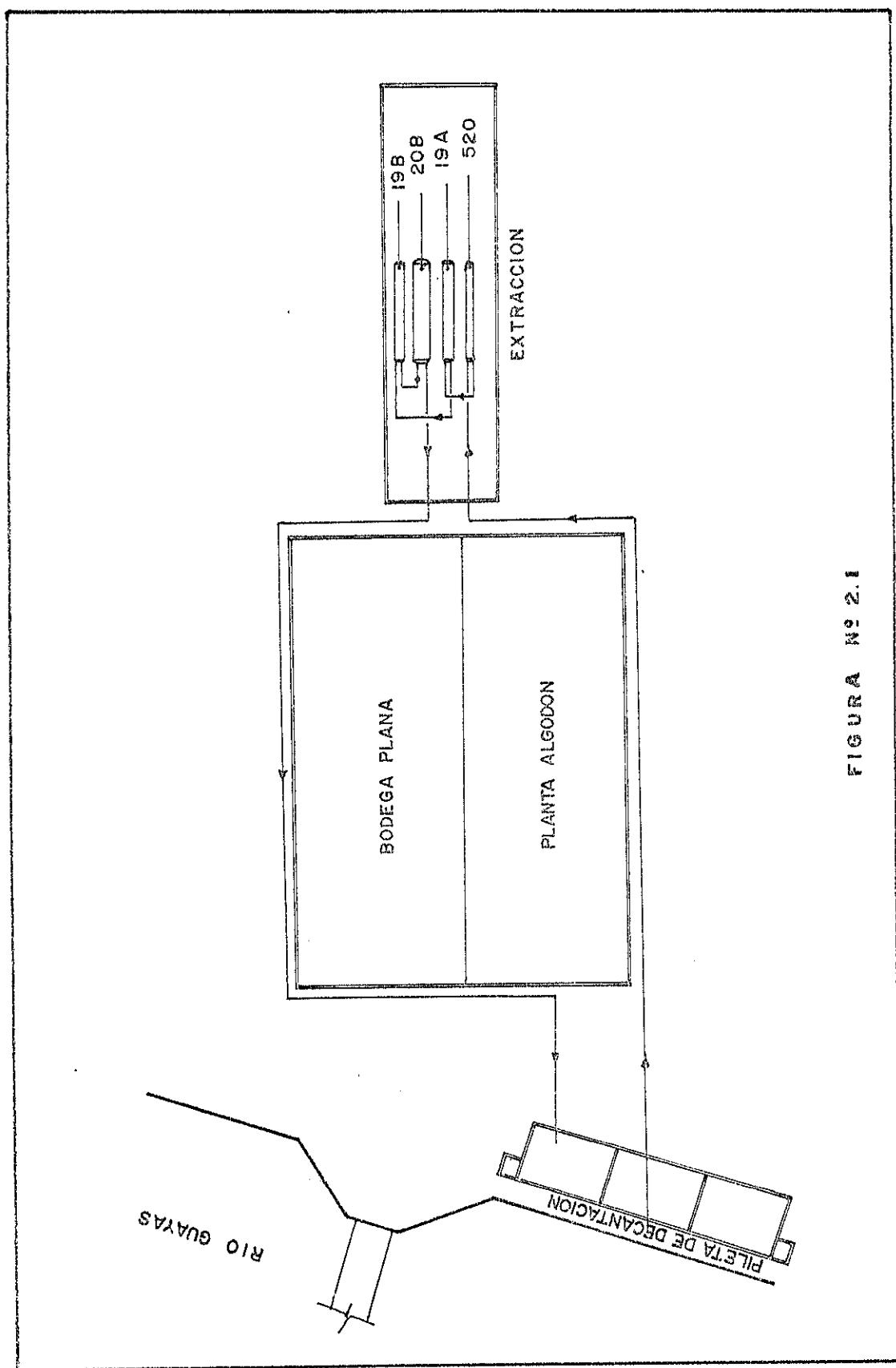


FIGURA N° 2.1

simplemente no se hizo y surgieron los problemas de picaduras y perforaciones que van asociadas con corrientes lentes que se debieron haber dado por acumulación de lodos.

Entre los materiales más apropiados para estos tipos de agua están el latón de almirantazgo (70% Cu, 29% Zn, 1% Al), latón de aluminio (76% Cu, 2% Al, 22% Zn), o el Cuproníquel (70% Cu, 30% Ni), los cuales aún siendo resistentes a los constituyentes del agua, si pueden ser atacados por varios mecanismos:

1. Ataque por depósito sobre zonas escudadas por materias extrañas (lodos, microorganismos), ocasionando una deficiencia local de oxígeno que hace anódico el material.
2. Descincificación, en la que ambos componentes del metal se disuelven y el cobre se vuelve a depositar en una capa o empaste poroso.
3. Por choque de burbujas de aire, impidiendo la formación de la película protectora y originando socavaciones.

Lo anterior argumentado hizo decidir el uso de tubos de titanio que tiene excelente resistencia a la corrosión, debido a que se cubre por oxidación de una tenue y resistente capa que lo protege. Entre las ventajas de su utilización están sus propiedades elásticas excelentes haciendo fácil su expandado, también su buena conductividad térmica (14.870 Kcal x cm/m² x hr x °C), 10.6 veces la del acero 304 (1.390 Kcal x cm/m² x hr x °C), mejorando la capacidad de transferencia de calor de los condensadores.

La tabla 2.1 muestra las especificaciones certificadas del material de

TABLA 2,1 CERTIFICADO DE TUBOS DE TITANIO

INDUSTRIAL TITANIUM CORPORATION
2041 Commercial Avenue
Northbrook, IL 60062 USA
(312) 877-1730 TELCO 882710
View Campanile Titanium Stock Warehouse

Certificate of Test

TO : LASCO
4511 N.W. 37TH COURT
MIAMI, FL 33142

DATE APRIL 28, 1988
CUSTOMER'S P.O. NO. 224-88

ANS

ATTN:

DESCRIPTION OF MATERIAL AND SPECIFICATIONS

3545 FT 3/4" O.D. X .035" WALL X 212.6" LONG
C.P. TITANIUM TUBING - GRADE 2
(200 PIECES)

CHEMICAL ANALYSIS													
HEAT NO.	CARBON	NI.	NI	AL	VA.	Cr.	Mn	NA.	DA.	Ti.	Mn	Ni	Si
WE CERTIFY THIS MATERIAL TO BE COMMERCIALLY PURE TITANIUM, GRADE 2. AS SUCH, THE MAXIMUM IMPURITIES IT CONTAINS ARE AS FOLLOWS:													
	NITROGEN	.03											
	CARBON	.10											
	HYDROGEN	.015											
	IRON	.30											
	OXYGEN	.75											
	(ALL OTHER ELEMENTS TOTAL .3)												

MECHANICAL PROPERTIES AND TESTS									
VISCO P.D.I.	TENSILE P.D.I.	ELONGATION %	REDUCTION OF AREA %	HARDNESS	TEMP				

WE CERTIFY THAT THE CHEMICAL ANALYSIS AND PHYSICAL TEST RESULTS APPLYING ON THE ABOVE ORDER NUMBER
ARE CORRECT AND TRUE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE AND BELIEF.

SUBSCRIBED AND SIGNED TO BEFORE ME

THIS 28 TH DAY OF APRIL 1988

INDUSTRIAL TITANIUM
CORPORATION

By:

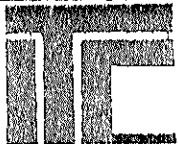
COMMON INDUSTRIAL TITANIUM TECHNOLOGY

	SOFT	MEDIUM	HARD	
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
HARDNESS TEST				
Rivinowitch	N _B 14	N _B 50	N _B 80	N _B 100
Brinell	128	160	186	205
AMERICAN METAL STANDARDS	AMS-4902A	AMS-4902	AMS-4900B	AMS-4901C
TENSILE*				
Ultimate strength	40,000 psi	50,000 psi	65,000 psi	80,000 psi
Yield strength	30,000 psi	40,000 psi	55,000 psi	70,000 psi
<small>*STRENGTHS AT ROOM TEMPERATURE. RAPID DROP OCCURS AS TEMPERATURE RISES.</small>				
CHEMISTRY	MAXIMUM ALLOWABLE CONTAMINATION... BALANCE IS COMMERCIAL PURITY TITANIUM FIGURES COMPILED BY AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS			
Nitrogen	0.03	0.03	0.05	0.05
Carbon	0.10	0.10	0.10	0.10
Hydrogen	0.015	0.015	0.015	0.015
Iron	0.20	0.30	0.30	0.50
Oxygen	0.10	0.25	0.35	0.40
CRUCIBLE STEEL COMPANY OF AMERICA	-	A40	A66	A70
TITANIUM METALS CORPORATION OF AMERICA	T100a	T100e	T100e	T170a
REACTIVE METALS INCORPORATED	RMI 30	RMI 40	RMI 66	RMI 70
SELECTION CHARACTERISTICS	Best for Formability and Purity	Best for general forming and corrosive resistant properties		Spring Temper for highest strength applications

INDUSTRIAL
TITANIUM
CORPORATION

2041 Commercial Ave.
Northbrook, Illinois 60062

847-276-6700



TITANIUM
MATERIALS

Industrial grade commercially pure Titanium our specialty
WIRE • BAR • SHEET • PLATE • EXPANDED • FITTINGS • FASTENERS

Orders filled promptly. Custom cutting.

los tubos adquiridos en U.S.A. en 1988. No se dispone de una tabla similar de los tubos anteriormente adquiridos en Europa, simplemente la especificación de titanio comercialmente puro calidad 3.7025.

2.2 TRATAMIENTO ANTICORROSIVO

El tratamiento para evitar corrosión en los condensadores requiere de un conocimiento del mecanismo. Puesto que la corrosión puede tomar muchas formas, el mecanismo de ataque en una solución acuosa siempre involucrará algunos aspectos electroquímicos, habrá un flujo de electricidad desde ciertas áreas de una superficie del metal a otras del mismo, en una solución capaz de conducirla tal como el agua de río que contiene sales disueltas.

Como se mencionó en la sección anterior, los problemas de picaduras son generados por corrientes muy lentas o aguas estancadas, debido a la presencia de lodos, microorganismos y demás sólidos suspendidos en el agua de río. También debe mencionarse el efecto abrasivo de los sólidos, que a la velocidad a que circulan (6.1 m/s en el condensador 520) constituyen una ayuda a desgastar el metal y metalizado de los tubos originales de los condensadores.

Las dos alternativas estudiadas son: 1. Tratamiento del agua de río. 2. Protección anticorrosiva.

2.1.1 TRATAMIENTO DEL AGUA DE RÍO

Analizando las condiciones del agua, podemos notar que la salinidad y la turbiedad (sólidos en suspensión) son los factores que deberían disminuirse por ser los más nocivos.

La remoción de sólidos suspendidos por sedimentación, es una práctica conocida desde hace siglos, científicamente el problema de la clarificación de agua entraña algunas complicaciones y la influencia de muchos factores que intervienen no es siempre aparente. La velocidad de sedimentación de cuerpos sólidos en el agua depende de la gravedad específica, la forma y tamaño de las partículas, la viscosidad del agua y de las corrientes dentro del recipiente. Aún manteniendo el agua en completo reposo, no siempre se puede obtener una clarificación de agua esperada, las partículas finamente divididas pueden permanecer semanas y solamente pueden ser removidas por sedimentación cuando han sido aglomeradas.

La sedimentación de sólidos se realiza en las piscinas o embalses de decantación (ver figura 2.1). Lógicamente no es posible obtener el mismo porcentaje de remoción de sólidos suspendidos que con agua en reposo, puesto que la velocidad del agua que fluye arrastra las partículas influyendo sobre la tendencia a depositarse.

La capacidad total de la piscina de decantación es de 352 m³, el consumo de agua es de 605 m³/hr (de los cuales 200 son para enfriamiento de los condensadores). Esto muestra que el tiempo de permanencia es aproximadamente 1/2 hora. La figura 2.2 muestra en forma gráfica la cantidad de sólidos suspendidos removidos por sedimentación simple contra el tiempo de retención para varias aguas turbias de río. La figura 2.3 está basada en experiencias con agua conteniendo inicialmente 850 ppm de turbidez, el porcentaje de remoción de materia suspendida está trazado contra el tiempo de sedimentación y muestra una velocidad decreciente que indica el límite práctico del período de retención.

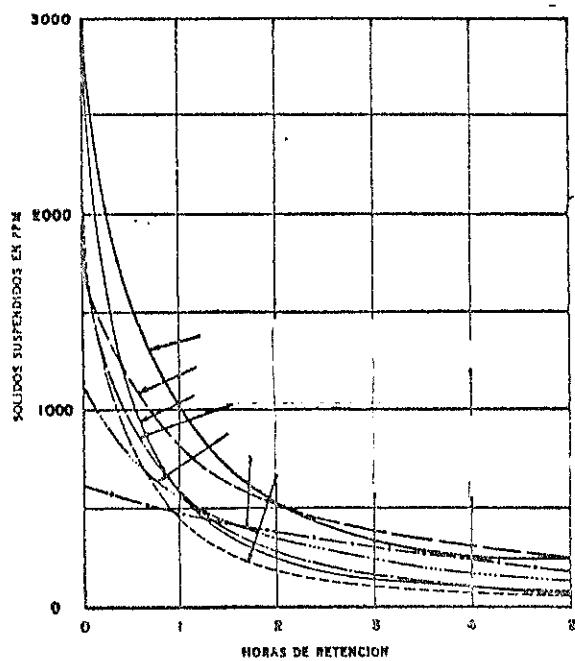


FIGURA N° 2.2

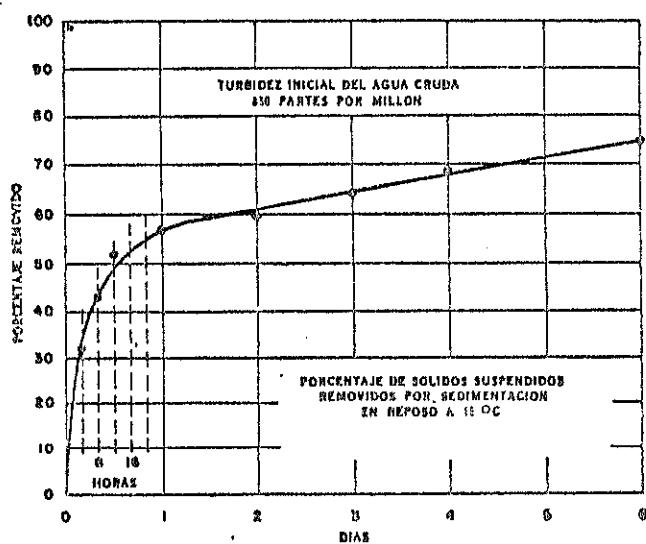


FIGURA N° 2.3

Estas curvas mostradas son para agua en reposo. Es de esperarse menores capacidades de sedimentación en las piscinas.

Existen métodos de floculación basados en el hecho de que todas las partículas contenidas en el agua, independientemente de su condición física o química, pueden formar masas relativamente grandes de pesos específicos lo suficientemente elevados para sedimentarse rápidamente. Para alcanzar esta condición favorable, la selección y dosis del coagulante químico y la estructura del flóculo deberán ser tales que se realice una clarificación satisfactoria.

También es posible tratar el agua por medio de la filtración, haciendo pasar la misma por un medio poroso. Sin embargo, se está hablando de 200 m³/hr con un contenido de 166 mg/lit que en baja mar puede llegar a mayores concentraciones (500 mg/lit), (ver tabla 1.2); esto significa de 32 a 96 Kg/hr de sólidos.

El cloruro de sodio es difícilmente eliminable y éste se lo puede hacer por evaporación o por tratamiento químico.

2.1.2 PROTECCION ANTICORROSIVA

Uno de los principios fundamentales de protección catódica se basa en la diferencia entre los potenciales de electrodo de los metales. Así un metal será anódico respecto a otro y cuando estos dos metales están:

1. Sumergidos en un electrolito, y,
2. Conectados eléctricamente, la corriente fluye del metal anódico al otro y se corroerá mientras el otro estará protegido.

La eficacia de este método disminuye conforme aumenta la distancia al

ánodo. Las áreas situadas a cierta distancia del metal que se sacrifica reciben menor protección que las cercanas a él.

También es posible el recubrimiento de los tubos por el lado de agua de capas de zinc, aluminio y cadmio. Sin embargo, tienen la desventaja de que no pueden doblarse, por ejemplo al expandirse, además la erosión de la arena del agua haría perder el recubrimiento.

2.3 REPARACIONES PERIODICAS

La implementación de un programa de mantenimiento tiene obvias ventajas, siempre y cuando el costo del mismo no supere las metas establecidas por un presupuesto que busca que los equipos sean rentables.

El plan consistiría en abrir los condensadores periódicamente, desplazar el haz de tubos, limpiar los tubos y practicar un ensayo hidrostático a los mismos para establecer su buen estado. Sin embargo, como se vio en el Capítulo I, los daños no seguían un patrón de frecuencia fácilmente establecido y aumentó la frecuencia de los daños antes de que ocurriera la inspección.

2.4 CONDENSACION MEDIANTE EL USO DE AGUA POTABLE

La utilización de agua potable como medio de transferencia de calor se presentó como una alternativa que al principio se vio contradictoria, debido a que el agua de río no necesita ser recuperada y su costo es nulo. Sin embargo, el hecho de que las alternativas presentadas no satisfacían o no podían ser realizadas y siendo los problemas ocasionados demasiado importantes, se hizo necesario considerar su utilización.

El sistema más simple y económico de recuperación y refrigeración del agua potable es el de evaporar un porcentaje del agua por medio de una corriente de aire, utilizando una torre de enfriamiento.

Entre las ventajas de su utilización se pueden enunciar:

1. Eliminación de las picaduras en los tubos.
2. Posibilidad de programar períodos de inspección y limpieza a intervalos de tiempo más largos.
3. Alivio al trabajo de las piletas de decantación.
4. Disminución de los costos por mantenimiento.
5. Eficiencia y seguridad de operación.

Entre las desventajas se enumeran:

1. Inversión inicial.
2. Costo del agua potable y su tratamiento.

CAPITULO III

CONSIDERACIONES TECNICAS DEL USO DEL AGUA POTABLE

3.1 CALCULO DEL CIRCUITO

El cálculo del circuito incluye dos pasos específicos:

1. Determinación de la cantidad de agua potable necesaria para condensar los vapores de hexano y agua, y,
2. Determinación de la presión requerida en las líneas, a fin de mantener un flujo constante.

Normalmente cuando se requiere conocer la cantidad de calor ganada por el agua de enfriamiento para condensar un fluido, se requiere conocer la rapidez de condensación deseada, la cantidad y el área de transferencia de calor disponible.

En el Capítulo I se mencionaban 8.558 lts/hr de solvente en la miscela, que se destilan y necesitan volver a ser recuperados por condensación si la miscela entra al sistema de destilación a 48°C, y es práctica llegar a destilar a temperaturas que no pasan 110°C; a pesar de que el hexano destila a 68.6°C (el objetivo es eliminar toda traza de solvente sin llegar a degradar el aceite). La cantidad de calor entregada a la miscela teóricamente sería:

$$\text{Calor total} = \text{Calor de calentamiento de la miscela} + \text{calor de evaporación del solvente.}$$

$$\text{Calor de calentamiento de la miscela} = \text{Calor de calentamiento del aceite hasta } 110^{\circ}\text{C} + \text{calor de calentamiento de solvente líquido hasta } 68.6^{\circ}\text{C.}$$

Calor de evaporación del solvente = Calor latente de evaporación a temperatura constante (68.6°C) + recalentamiento del vapor hasta 110°C .

Calor de calentamiento de la miscela:

$$\begin{aligned} 1.284 \text{ Kg/hr aceite} &\times (110 - 48) ^{\circ}\text{C} \times 0.57 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} + 5.820 \text{ Kg/hr} \\ \text{solvente} &\times (68.6 - 48) ^{\circ}\text{C} \times 0.527 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} = 45.377 + 63.183 \text{ Kcal/hr} \\ &= 108.560 \text{ Kcal/hr} \end{aligned}$$

Calor específico del aceite = 0.57 (ver apéndice A)

Calor específico de hexano líquido = 0.527 (ver apéndice B)

Calor de evaporación del solvente:

$$\begin{aligned} 5.820 \text{ Kg/hr solvente} &\times 79.4 \text{ Kcal/Kg} + 5.820 \text{ Kg/hr solvente} \\ (110 - 68.6) ^{\circ}\text{C} &\times 0.339 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} = 543.790 \text{ Kcal/hr} \end{aligned}$$

Calor específico del hexano como vapor = 0.339 (ver apéndice B)

Calor total = 652.370

Naturalmente, para regresar el solvente a su condición original a 48°C será necesario extraer la misma cantidad de calor que ganó, esto es: $543.790 + 63.183 = 606.973 \text{ Kcal/hr}$

Sin embargo, es recomendable condensar hasta temperaturas más bajas en el orden de los $30 - 32^{\circ}\text{C}$, a fin de asegurarse de una mínima presencia de hexano en las flemas que van al circuito de absorción, esto último demanda una cantidad adicional de Kcal/hr que tiene que absorber el agua de enfriamiento:

Son: 5.820 Kg/hr solvente \times 0.527 Kcal/Kg °C (48 - 30) °C
= 55.208 Kcal/hr, lo que hace un total de:
606.973 + 55.208 = 662.181 Kcal/hr

Los cálculos hasta ahora aplicados no toman en cuenta la cantidad de vapor de agua de arrastre que se inyecta a la miscela y que se evapora junto con el solvente, ni tampoco el vapor de agua introducido al sistema en los eyectores para producir la depresión adecuada. El vapor de agua también se condensa y cede su calor junto al solvente. Es muy difícil estimar la cantidad de vapor, dado que no se conocen las especificaciones de los eyectores. Sin embargo, una solución práctica es basarse en el funcionamiento con agua de río.

Lo siguiente es un cálculo del caudal de agua que estaba circulando por el circuito del diseño original. (Ver figura 2.1).

Características del equipo de bombeo:

Bomba marca: Hidrostal

Tipo: 150-125-250 Impeller 284 mm

Motor: 75 HP - 1.750 rpm

Temperatura de agua de entrada = 27°C

Temperatura de agua de salida = 36°C

La figura 3.1 muestra las características del tipo de bomba.

El consumo de corriente en operación del motor fue medido y corresponde a un promedio de 100 amperios.

Basados en las condiciones de funcionamiento, 100 amperios que aplica-

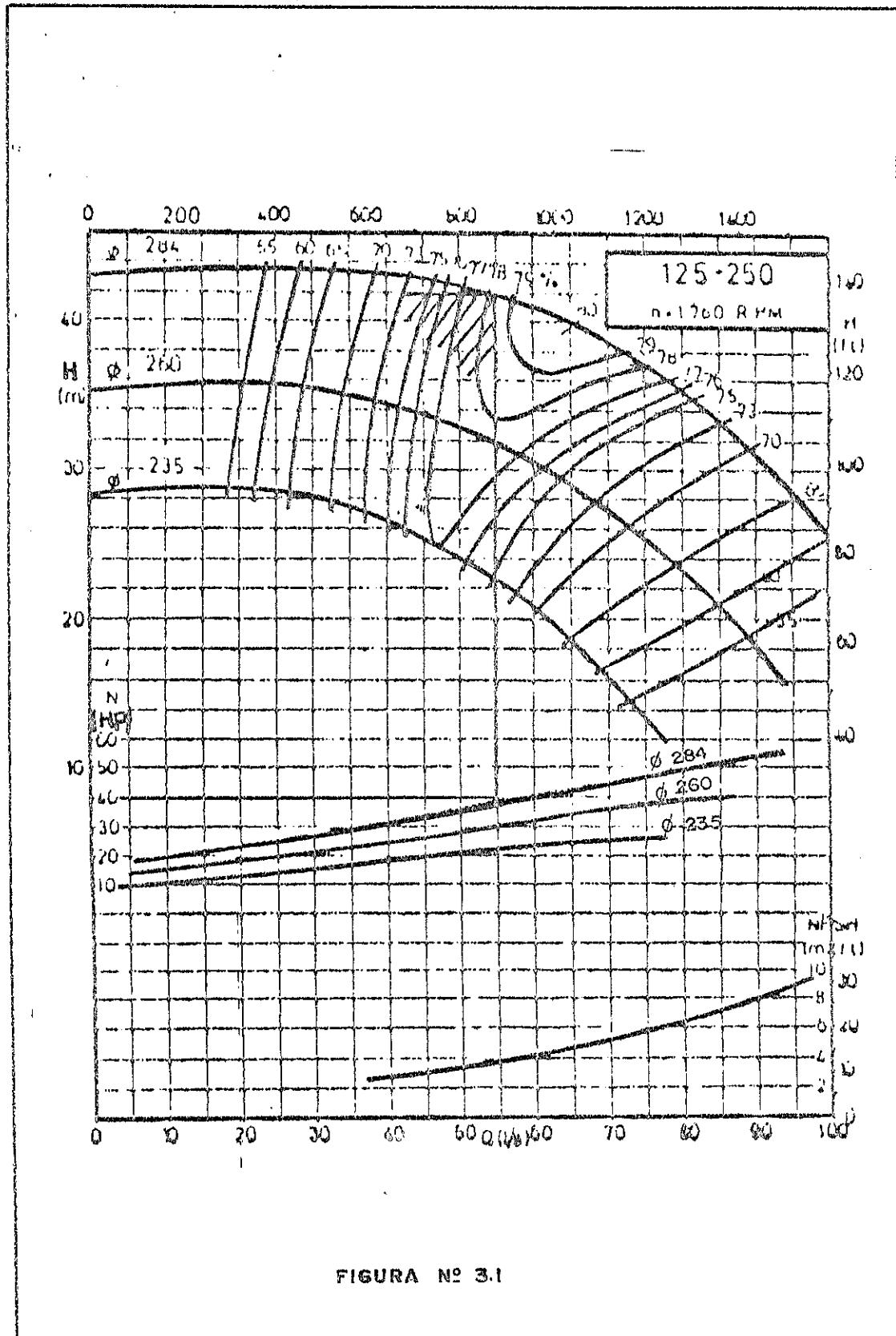


TABLA 3.1 CORRIENTE ABSORBIDA PARA MOTORES
ASINCRONICOS A 220 VOLTIOS/1.800 R.P.M.

Potencia (HP)	Intensidad Nominal (Amperios)
1/6	0.75
1/4	1.1
1/3	1.35
1/2	2
3/4	2.6
1	3.4
1.5	4.9
2	6.4
3	9
4	11.8
5.5	15.6
7.5	20.3
10	27
15	40
20	52.5
25	66
30	78
40	102
50	124
60	148
75	183
100	240
125	302

dos a la fórmula de potencia absorbida para motores trifásicos asincrónicos:

$$P = \frac{V \times I \times e \times 1.732}{740} \text{ (HP)}$$

P = potencia, V = voltaje, I = corriente, e = eficiencia

$$P = \frac{220 \times 100 \times 0.8 \times 1.732}{740}$$

$$P = 41 \text{ (HP)}$$

Lo cual muestra el hecho de que el motor estaba sobredimensionado. Esto se enfatiza en la tabla 3.1. Nótese que un motor de 40 HP a 1.800 rpm, consume aproximadamente 102 amperios.

Regresando a la figura 3.1, con 40 HP el caudal estaría en el orden de los 900 galones por minuto.

La bomba succiona de la pileta de decantación hasta los condensadores y retorna a la misma pileta, el cálculo de pérdidas se muestra en la siguiente tabla:

	<u>Kg/cm²</u>
Longitud de tubería (\varnothing 150 mm) 220 m	1.167
15 codos 150 mm x 90°	0.388
5 codos 150 mm x 45°	0.065
3 válvulas de compuerta 150 mm	0.017
1 válvula cheque 150 mm	0.065
Banco de Condensadores	<u>2.500</u>
Total:	4.2

$4.2 \text{ Kg/cm}^2 = 42 \text{ m de agua.}$

Según las tablas del apéndice C, con 900 gpm, las pérdidas en $\frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{m}}$ son del $5.3 \times 10 - 3$ para tubería de 150 mm.

Vale comentar que los cálculos son hechos para tubería de acero; sin embargo, una parte de la tubería es de PVC, esto nos da un buen margen de seguridad, tomando en cuenta que el PVC es menos rugoso que el acero; lo que generaría menos pérdidas por fricción. Esto último además compensaría el deterioro normal que con el tiempo sufren las tuberías.

Finalmente, se puede calcular la cantidad de calor ganada por el agua del río:

$$Q = \text{Flujo de agua (Kg/hr)} \times \text{calor específico (Kcal/Kg } ^\circ\text{C)} \times \underline{\text{diferencia de temperatura (}}^\circ\text{C}\text{).}$$

$$\text{Son: } 900 \text{ galones/minuto} \times 3.785 \text{ lt/l galns} \times 1 \text{ Kg/l lt} \times 60 \text{ minutos/l hr} \times 1 \text{ Kcal/l Kg } ^\circ\text{C} \times (35 - 27) ^\circ\text{C} = 1'635.120 \text{ Kcal/hr}$$

$$\text{Notemos que la diferencia entre los cálculos iniciales y los reales son de: } 1'635.120 - 662.182 = 972.938 \text{ Kcal/hr.}$$

Lo que está en el orden del 147 por ciento adicional.

Esto explica la gran cantidad de vapor que se introduce al sistema como ya se comentó, y adicionalmente, por la serie de respiraderos que generan vapores de hexano y que son condensados por el sistema.

Por ejemplo: 1.000 Kg/hr de vapor saturado a 10.5 Kg/cm² manométrico

cos ceden aproximadamente 632.000 Kcal/hr para adquirir 30°C.

También hay que considerar la energía que no se puede aprovechar, ya que es imposible trabajar a un 100 % de rendimiento.

3.2 DIMENSIONAMIENTO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Como se expresó en el Capítulo II, el enfriamiento por evaporación es el más práctico método para cantidades grandes de agua y temperaturas bajas.

Normalmente la elección de un equipo, en este caso la torre de enfriamiento, requiere de varios elementos que si son tomados muy en cuenta difícilmente se corre el riesgo de cometer errores.

Debido a la experiencia de la Planta con torres de enfriamiento "Marley" hizo fácil su elección (la Planta posee dos torres de este tipo).

El funcionamiento de este tipo de torre es así:

El agua proveniente del proceso entra en la torre en forma de lluvia, que origina un sistema de rociadores, el líquido cae por la fuerza de la gravedad sobre el relleno que está constituido por placas estampadas de PVC en contacto una con otra formando un "panel de abejas", el agua rociada pasa a través de este último en forma de una fina película. Un ventilador de aspiración origina una fuerte corriente ascendente de aire en contracorriente con el agua, lo que produce una evaporación parcial, el calor necesario para producir dicha evaporación se absorbe del agua circulante, que en consecuencia reduce la temperatura.

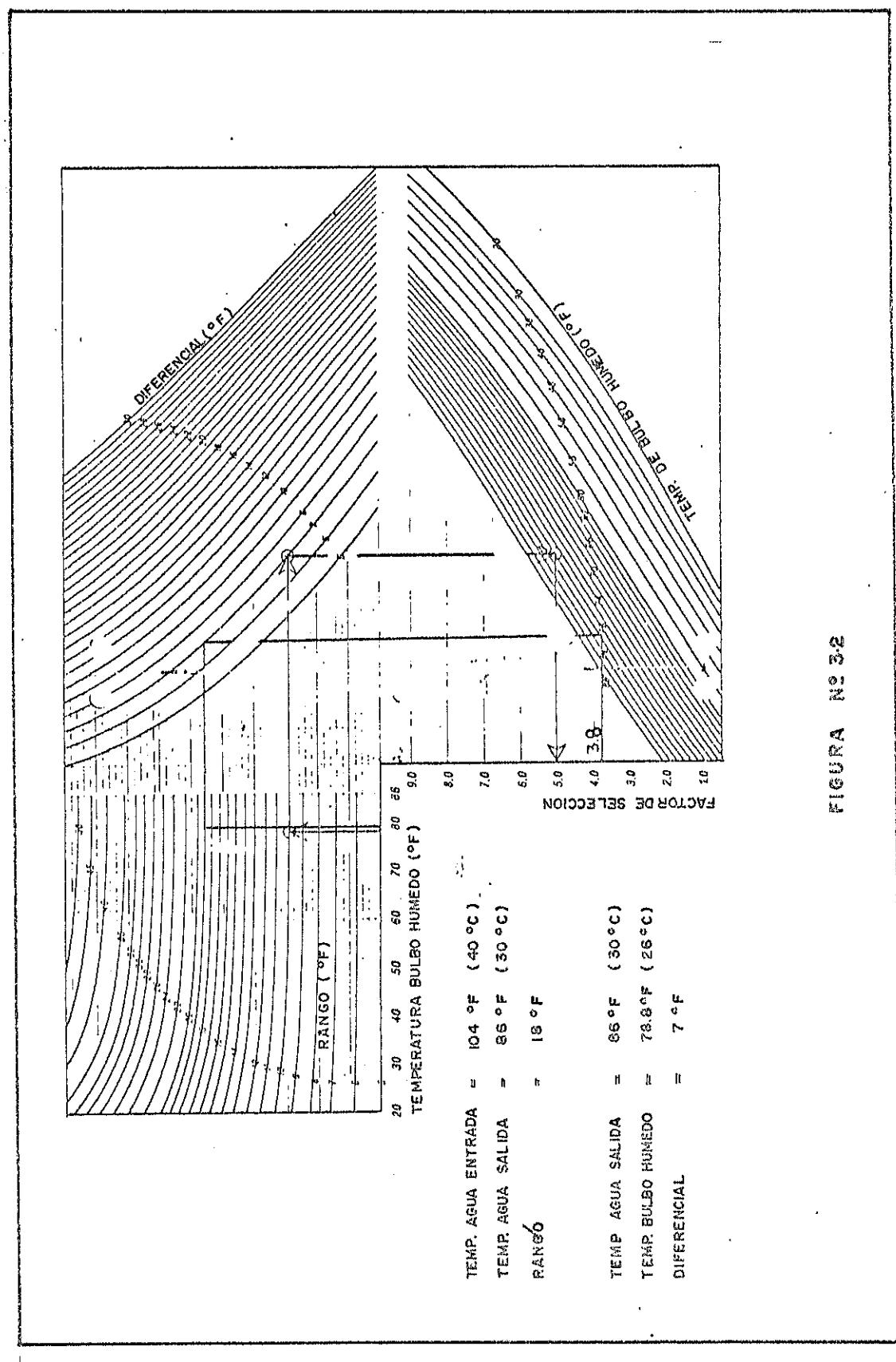


FIGURA N° 3.2

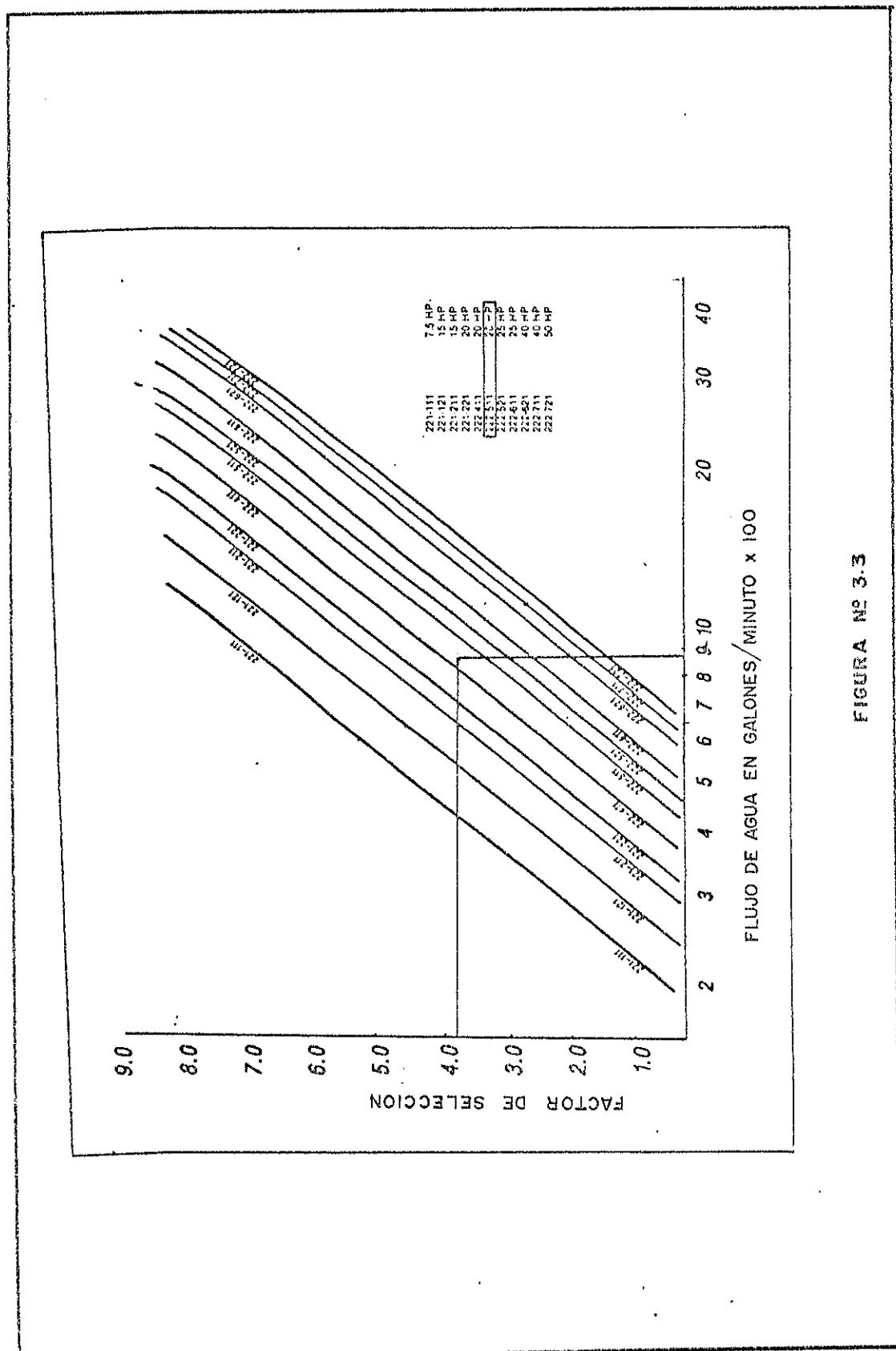


TABLA 3.2 REPOSICION DE AGUA NECESARIA
(GALONES/MINUTO)

<u>Flujo en la Torre (g.p.m.)</u>	<u>Diferencial de presión</u>	<u>Temperatura (°F)</u>
	5	10
200	2	3
400	3	5
600	4	8
800	5	10
1.000	7	13
1.500	10	19
2.000	13	25
3.000	19	38
	15	20
	20	30
	30	40
	40	
	8	10
	15	20
	23	30
	38	40
	57	50
	75	75
	100	
	113	150

TABLA 3.3 CAPACIDAD DE LA VALVULA DE FLOTADOR
(GALONES/MINUTO)

<u>(Kg/cm²)</u>	<u>Presión antes de la Válvula</u>	<u>Válvula 25 mm</u>	<u>Válvula 50 mm</u>
	0.7	45	115
	1.4	64	160
	2.1	78	195
	2.8	90	225
	3.5	100	245

El siguiente paso consiste en el verdadero dimensionamiento de la torre. Los parámetros de selección se basan en los cálculos estimativos de la sección anterior.

Temperatura de agua de entrada	=	40°C
Temperatura de agua de salida	=	30°C
Temperatura de bulbo húmedo	=	26°C aprox.
Flujo de agua	=	204.4 m ³ /hr (900 gpm)

El tipo de torre seleccionado es de tiro mecánico inducido. Notemos que se han escogido temperaturas superiores a las condiciones con agua del río; lo que daría un buen margen de seguridad, esto es:

$$\begin{aligned} Q &= m \text{ cp. } AT = 204.400 \text{ Kg/hr} \times 1 \text{ Kcal/Kg°C} (40 - 30)^\circ\text{C} \\ &= 2'044.000 \text{ Kcal/Kg} \end{aligned}$$

Valor que representa la carga de calor que disiparía la torre de enfriamiento. Notar que la temperatura de acercamiento, es decir, la diferencia entre la temperatura de salida y la de bulbo húmedo es de 7.2°F que es un valor intermedio dentro de las expectativas para estos tipos de torre.

Las figuras 3.2 y 3.3 muestran el método de selección del tipo de torre necesario para las condiciones previamente especificadas.

Según estos pasos, el tipo de torre seleccionado es:

NC 220 - 511 con ventilador de 20 HP/1.800 rpm.

Obviamente, estas torres requieren una continua aportación de agua, esto es debido a la constante evaporación del agua a enfriar, en adición

a esta evaporación, siempre existe un arrastre de gotas de agua, finalmente una cantidad de agua debe purgarse, a fin de evitar concentraciones anormales de sales.

La tabla 3.2 muestra los galones por minuto necesarios para mantener las concentraciones de sales, lo cual es función de la carga calorífica de la torre.

La tabla 3.3 muestra la capacidad de la válvula de flotador para la entrada de agua de reposición.

3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO

Para seleccionar el equipo de bombeo es necesario determinar la ubicación del mismo, respecto de la torre y respecto a los condensadores.

La torre seleccionada estaría ubicada en la misma pileta de decantación, con lo cual la bomba no tendría mayor variación de su posición original como para cambiar considerablemente sus condiciones de bombeo.

La figura 3.4 muestra la nueva ubicación de la bomba, regresando sobre la figura 3.1 y los cálculos previos, sólo necesitamos un motor de 40 HP para solventar las necesidades de bombeo. Ventajosamente disponíamos de un motor con esas características en la bodega, con un costo muy bajo; lo que favorecía su utilización.

El paso siguiente consiste en adecuar el sistema de reposición de agua.

Según lo analizado en la sección 3.2, necesitamos de 20 galones por minuto de agua de reposición, según esto se seleccionó una válvula de flotador de 25 mms.

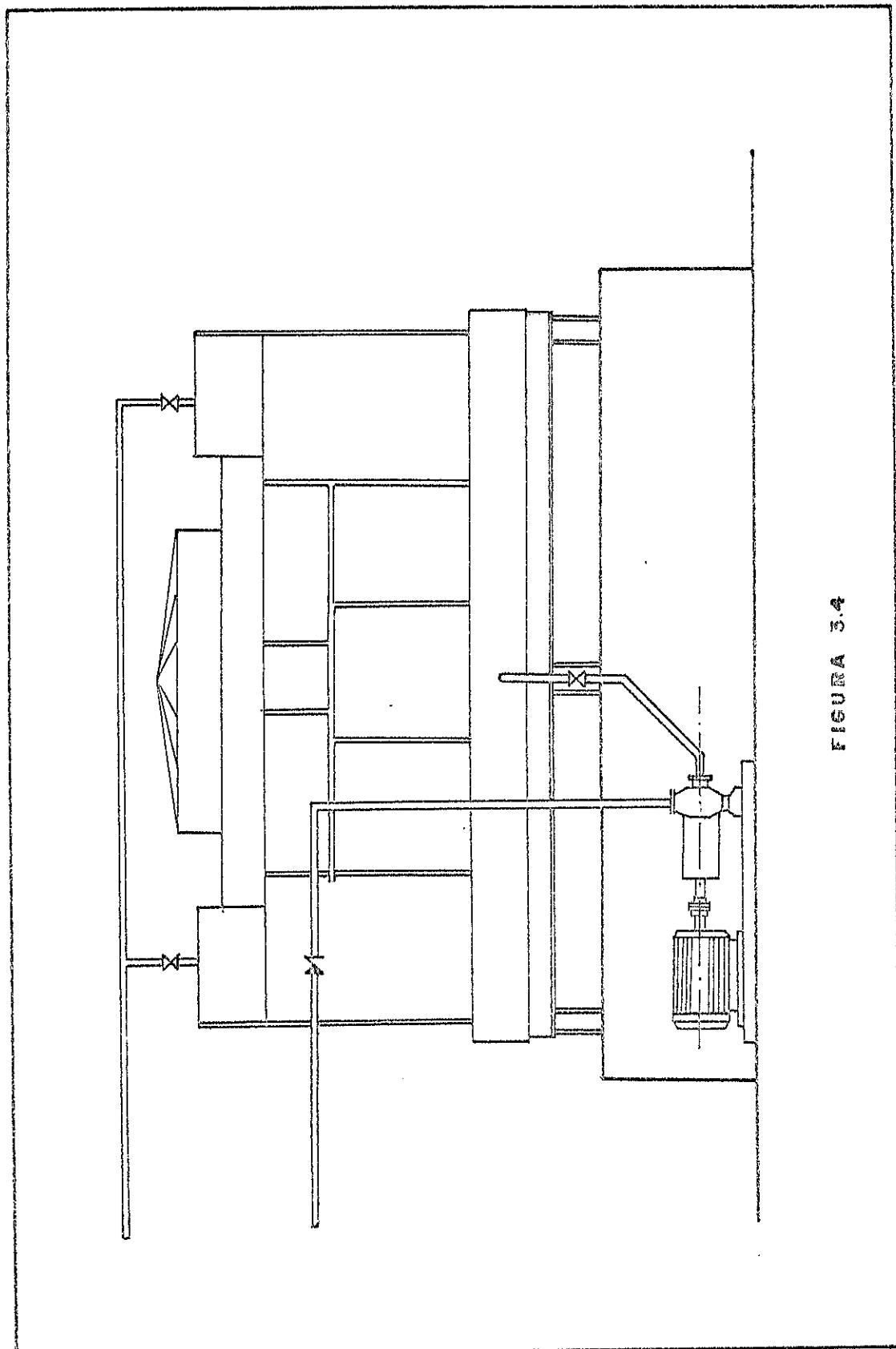


FIGURA 3.4

En la cisterna de la planta están ubicadas una serie de bombas para agua de las distintas secciones, incluida una para bombear agua potable a la Planta de Extracción, los requerimientos de la planta son bajos y se pueden apreciar en el esquema de la figura 3.5.

La bomba es marca "Gould", modelo 3656, 1 1/2 x 2 - 6, con motor de 3 HP/3.500 rpm.

Las curvas de trabajo de la bomba se muestran en la figura 3.6.

Debido al bajo consumo en la Planta de Extracción, 250/l hr = 1.1 galones/minuto, se hace el cálculo como para 25 galones/minuto, desde la cisterna hasta el punto 2 (ver figura 3.5).

	<u>Kg/cm²</u>
Longitud de tubería (\emptyset 50 mm) 260 m	0.347
Doce codos 50 mm x 90°	0.025
Una válvula 50 mm de compuerta	0.001
Una válvula cheque 50 mm	0.006
Altura neta total 5 m	<u>0.500</u>
	0.879

Las pérdidas por fricción en Kg/cm²/m son 1.34×10^{-3} (ver apéndice) con 25 gpm para tubería de 25 mm.

Las pérdidas de fricción desde el punto 2 a la torre de enfriamiento se las puede calcular tomando en consideración los 25 galones/minuto con tubería de 25 mm.

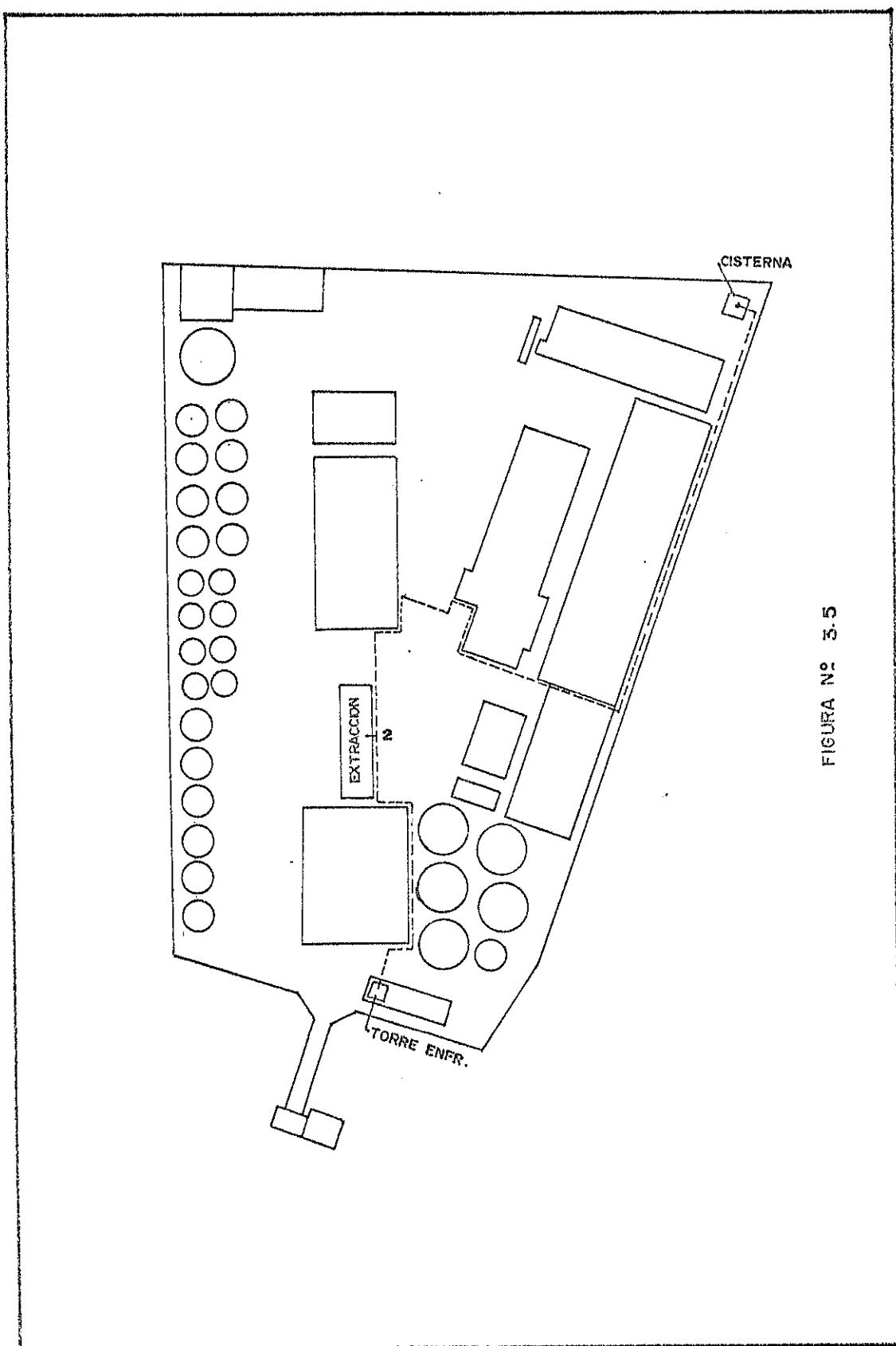


FIGURA N° 3.5

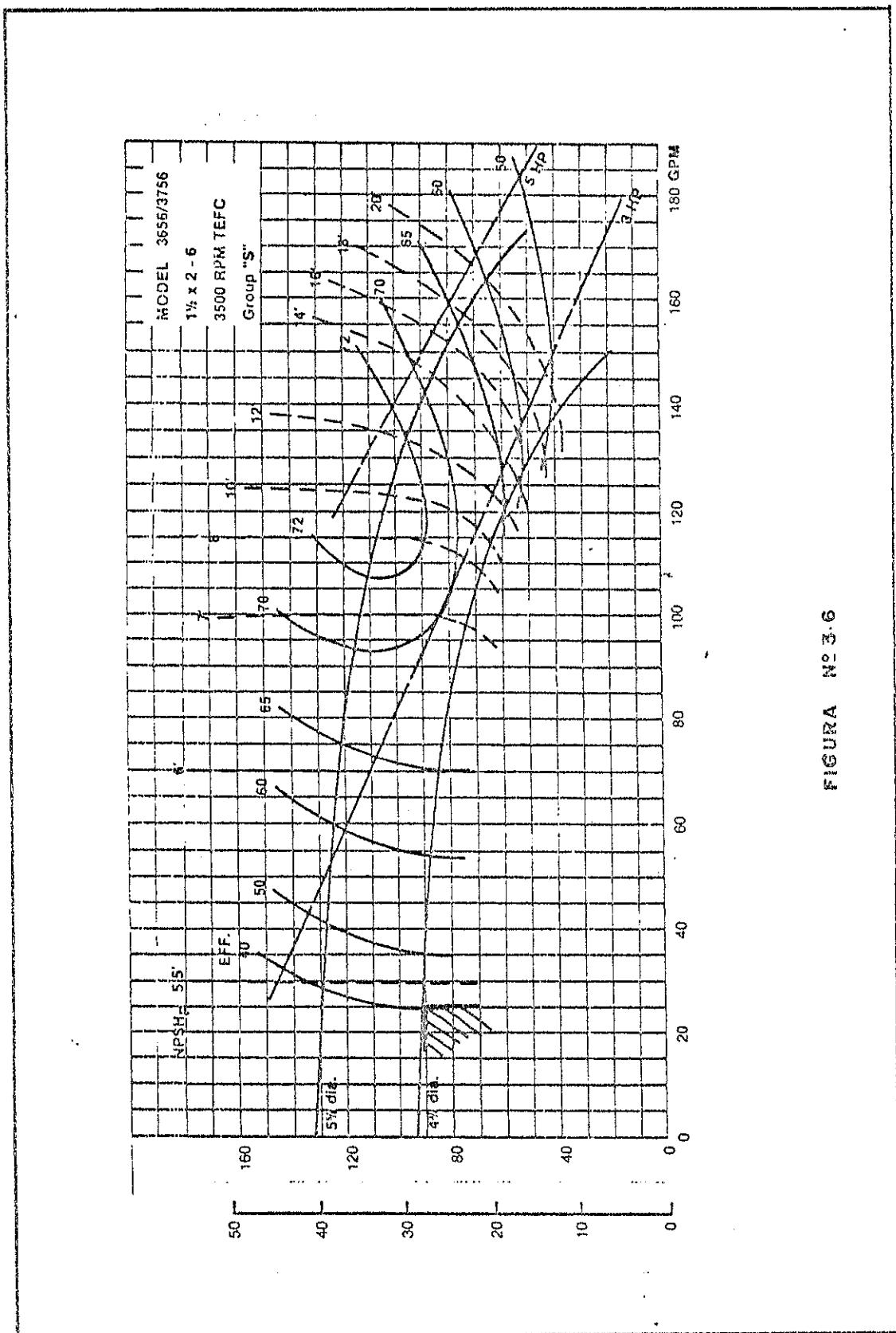


FIGURA N° 3.6

	<u>Kg/cm2</u>
Longitud de tubería (\varnothing 25 mm) 120 m	1.758
Ocho codos 25 mm x 90°	0.090
Una válvula de compuerta	0.003
Una contracción 50/25 mm	0.004
Altura neta total (-3 m)	- <u>0.300</u>
	1.354

En la figura 3.6 se muestra la zona de trabajo de la bomba actual instalada, considerando una pérdida total de:

$$0.879 + 1.354 \text{ Kg/cm}^2 = 2.233 \text{ Kg/cm}^2 = 22.33 \text{ m de H}_2\text{O}$$

3.4 CONSIDERACIONES DE MONTAJE

Lo siguiente es una breve descripción del montaje de la torre, considerando su peso en operación de 18.000 libras (8.16 TM). Las figuras 3.7A y 3.7B muestran la estructura de la pileta de decantación y de la torre de enfriamiento. Como se aprecia, la torre distribuye su peso en seis zapatas de cimentación que descansan en la base de la pileta que tomaría el lugar de losa de cimentación, haciendo que el terreno soporte muy poco esfuerzo.

Es muy sencillo calcular las toneladas por metro cuadrado aumentados al terreno:

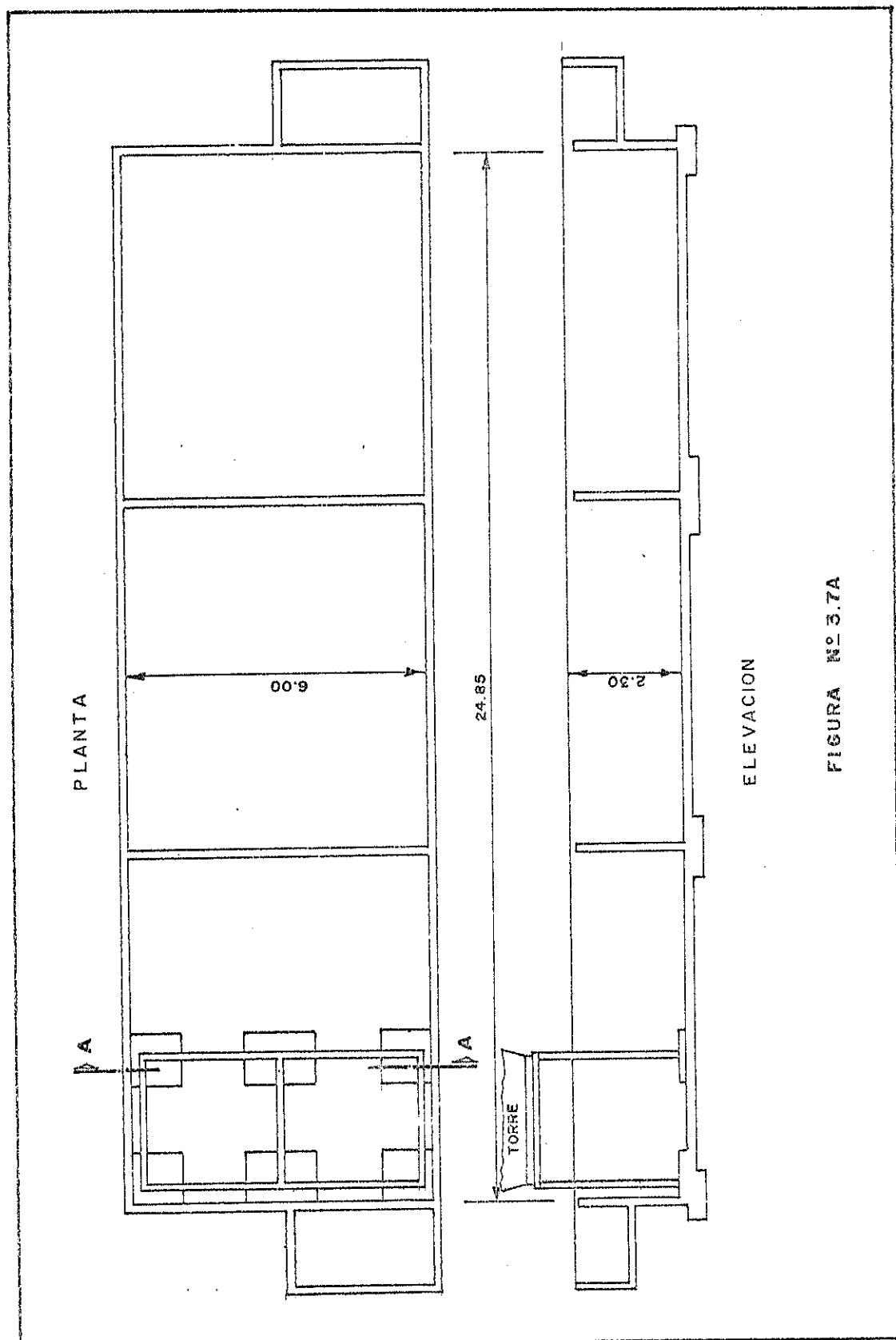
$$\text{Área de la base de la pileta: } 6 \text{ m} \times 24 \text{ m} = 144 \text{ m}^2$$

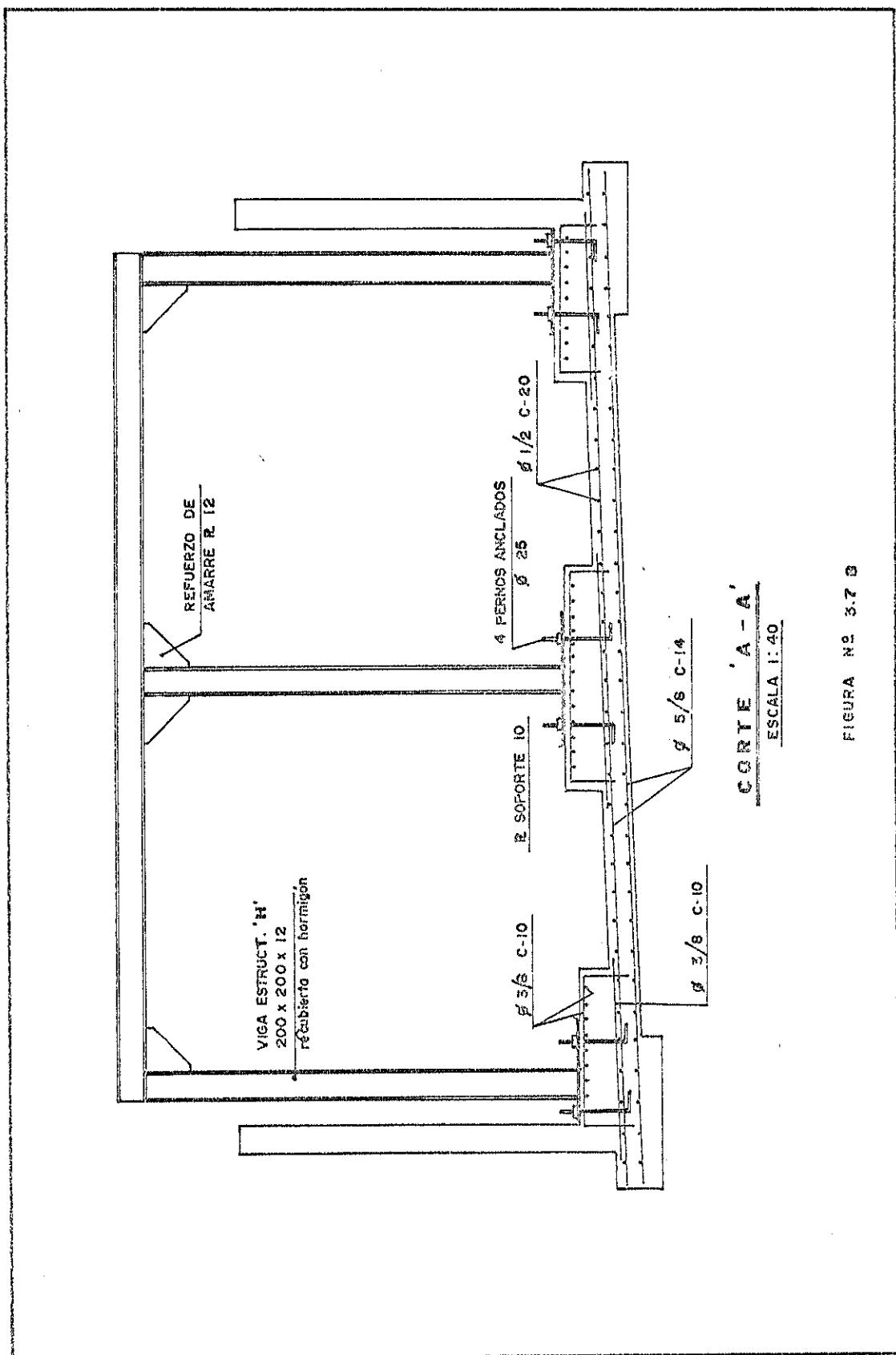
$$\text{Peso total de la torre + estructura} = 10 \text{ Tns}$$

$$\text{Esfuerzo agregado} = 10 \text{ Tns}/144 \text{ m}^2 = 0.069 \text{ Tns/m}^2$$

Esfuerzo que se puede considerar muy pequeño y que de ninguna manera afectará a las condiciones originales.

Las figuras 3.8 y 3.9 son el cronograma fijado de trabajo para realizar las modificaciones.





CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	D I A S						
	1	2	3	4	5	6	7
MODIFICACION DE LINEAS DE AGUA DE RIO A LA PILETA							
DESCARGA DE LA 1º PISCINA							
LIMPIEZA DE LA 1º PISCINA							
PICADA DE LOSA DE LA PISCINA							
ARMADO DE REFUERZOS							
FUNDICION DE ZAPATAS							
ARMADA DE ESTRUCTURA DE LA TORRE							
REUBICACION DE LINEAS DE AGUA DE RIO A LA PILETA							

FIGURA N° 3.8

PROGRAMA DE INSTALACION Y ARRANQUE DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO													
CARACTERISTICA PRINCIPAL DEL TRABAJO	D I A S												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ARMADO DE LA TORRE													
INSTALACION DE BOMBA													
MODIFICACION DE LINEAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y REPOSICION													
INSTALACION ELECTRICA													
PRUEBAS Y ARRANQUE													

FIGURA N° 5.9

CAPITULO IV

E V A L U A C I O N D E L A S O L U C I O N P R O P U E S T A

4.1 INVERSIONES EFECTUADAS

La decisión de llevar adelante un proyecto significa asignar a su realización una cantidad de variados recursos que se pueden agrupar en dos grandes tipos: 1. Los que requieren la instalación del proyecto, y 2. Los requerimientos para la etapa de funcionamiento propiamente dicha.

Es de interés en esta sección cuantificar los gastos necesarios para la instalación, que constituyen el capital fijo y no los gastos que requiere el funcionamiento o capital de trabajo. La siguiente tabla es un desglose de los costos del activo.

TABLA 4.1 INVERSION EN LA OBRA

- Costo de la torre de enfriamiento	S/. 7'852.120.49
- Cimentación y estructura:	
1. Materiales: Cemento, varillas de hierro, vigas H, etc.	40.519.44
2. Mano de Obra	128.000.00
- Ensamblaje de la torre de enfriamiento y acometida de línea de agua de reposición:	
1. Mano de Obra	416.200.00
2. Materiales: Planchas, vigas	583.168.47
3. Imprevistos y adicionales	125.000.00

- Instalación Eléctrica:

Arrancadores, cables, térmicos, etc.	S/. 362.960.00
--------------------------------------	----------------

Mano de Obra	<u>54.500.00</u>
--------------	------------------

Total de Gastos: S/. 9'562.468.40

4.2 COSTO ACTUAL DE MANTENIMIENTO

Los gastos hechos hasta ahora por concepto de mantenimiento, se pueden considerar nulos.

En enero se abrieron los condensadores para inspeccionarlos y no se encontró ninguna novedad. En la figura 4.1 se muestran los gastos de mantenimiento de los equipos de extracción en el año 1988.

Como se puede ver en la figura, el promedio de gastos hasta el mes de julio es de S/.15'300.000.00, desde agosto hasta diciembre es de S/.8'100.000.00. Esta diferencia resulta más obvia si se toma en cuenta que en los meses de agosto, septiembre y octubre, los suministros industriales en general elevaron sus costos por las condiciones econó micas que vivía el país.

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la modificación efectuada se los debe de juzgar des de el punto de vista operativo, así como desde el punto de vista eco nómico.

Los análisis realizados son básicamente comparativos, buscando demos trar las bondades de las nuevas condiciones de operación. Los resul tados que pueden evaluarse respecto a las condiciones anteriores son:

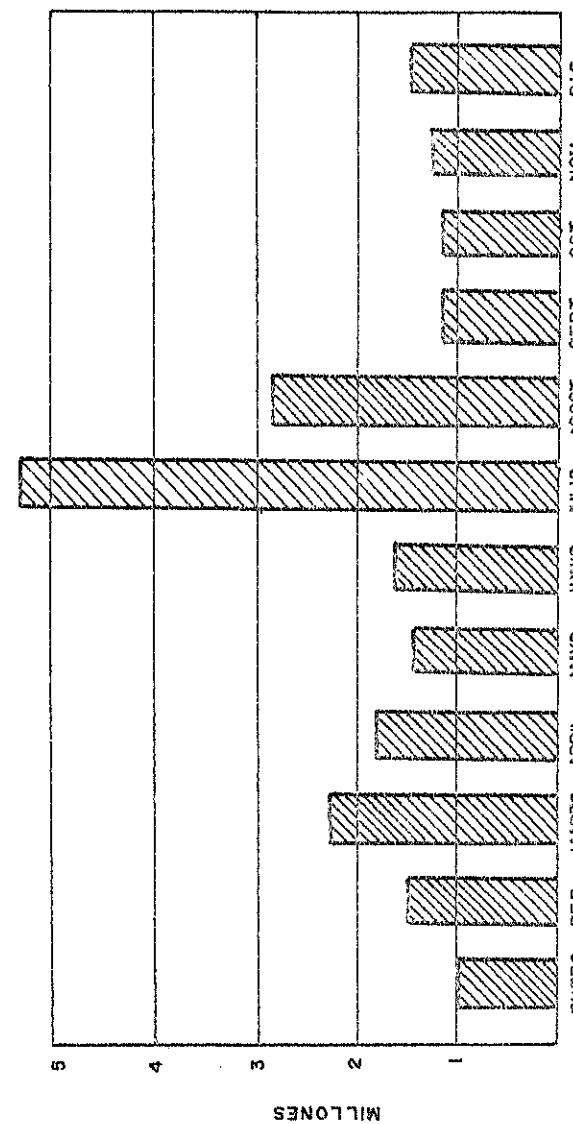


FIGURA N° 4.1

1. Condiciones de operación
 2. Gastos de mantenimiento
 3. Pérdidas de producción
 4. Consumo de solvente
 5. Condiciones de seguridad
 6. Costo de operación: Energía eléctrica, agua
1. Condiciones de operación: Los parámetros trascendentales de operación de los condensadores son: 1. La temperatura de salida de las flemas al circuito de absorción, y 2. La temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento en los condensadores.

La tabla 4.2 A son lecturas tomadas en las condiciones iniciales de diseño (antes de las modificaciones).

A partir del arranque de la torre de enfriamiento se tomaron estas lecturas y los resultados se muestran en la tabla 4.2 B.

TABLA 4.2 A CONDICIONES ANTERIORES DE OPERACION
(CON AGUA DE RIO)

Día/hora	Temperatura de las flemas (°C)	Temperatura agua entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
Abril 13/09	36	27	35
Abril 13/11	35	27	35
Abril 13/13	35	27	35
Abril 13/15	36	27	35
Abril 13/17	36	27	35
Abril 13/19	36	27	35
Abril 13/21	36	27	35
Abril 13/23	36	27	35
Abril 14/01	36	27	35
Abril 14/03	36	27	35
Abril 14/05	36	27	35
Abril 14/07	37	27	35
Abril 14/09	37	27	35
Abril 14/11	37	27	36
Abril 14/13	37	27	36
Abril 14/15	37	27	36
Abril 14/17	37	27	36
Abril 14/19	36	27	36
Abril 14/21	36	27	35
Abril 14/23	37	27	35

TABLA 4.2 B CONDICIONES ACTUALES DE OPERACION

Día/hora	Temperatura de las flemas (°C)	Temperatura agua entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
1 Agt/09	30	28	33
1 Agt/11	30	28	33
1 Agt/13	30	28	33
1 Agt/15	30	28	34
1 Agt/17	30	28	33
1 Agt/19	30	28	33
1 Agt/21	30	28	34
1 Agt/23	30	27	33
2 Agt/01	30	28	34
2 Agt/03	30	27	33
2 Agt/05	30	28	33
2 Agt/07	30	28	33
2 Agt/09	30	28	33
2 Agt/11	30	28	33
2 Agt/13	30	28	34
2 Agt/15	30	28	34
2 Agt/17	31	28	34
2 Agt/19	30	28	33
2 Agt/21	30	27	33
2 Agt/23	30	27	33
3 Agt/01	30	27	33
3 Agt/03	30	27	34
3 Agt/05	30	27	33

2. Gastos de mantenimiento: Como se demostró en la sección 4.2, los gastos disminuyeron ostensiblemente desde la implementación de las modificaciones.

3. Pérdidas de producción: En vista de que la Planta no ha parado intempestivamente por daños en los condensadores, se puede afirmar que las pérdidas han sido nulas.

Es sumamente difícil evaluar el ahorro por este logro, ya que depende de muchos factores que están fuera del alcance de este informe.

4. Consumo de solvente: Como ya se anotó, el consumo de solvente es un factor importante en el balance de producción de la Planta. El consumo especificado para la misma es de 6 kilogramos de solvente por cada tonelada de semilla procesada. La tabla 4.3 es elaborada a partir de las toneladas de soya procesada y el consumo de solvente respectivo.

5. Condiciones de seguridad: Temperaturas normales de las flemas al circuito de absorción, están en el orden de los 33°C. El hecho de trabajar actualmente a temperaturas inferiores (30 a 31°C), disminuye el riesgo de expulsar solvente a la atmósfera, consiguiendo mejores niveles de seguridad en la Planta.

6. Costo de operación: Es fácil comprender que en este aspecto hay factores negativos, puesto que el consumo anterior de agua potable era nulo. Así mismo, el consumo de energía eléctrica se ha incrementado debido al motor del ventilador de la torre de enfriamiento.

Respecto al consumo de agua hay que aclarar que en condiciones de

TABLA 4.3 CONSUMO DE SOLVENTE

	(Tm) Semilla Procesada	(Kg) Solvente Consumido
Enero 4 - 29	4.397.97	26.974
Enero 30 - Febrero 16	4.280.26	20.176
Abril 22 - Mayo 27	4.523.83	35.693
Mayo 28 - Julio 1	<u>3.862.34</u>	<u>29.686</u>
Total:	17.064.40	112.529
Consumo Kg Solvente/Tm Semilla =	6.59	
Julio 30 - Septiembre 2	6.059.42	35.205
Septiembre 3 - 19	2.622.76	12.954
Octubre 20 - 28	1.447.37	6.606
Octubre 29 - Diciembre 2	4.996.95	31.712
Diciembre 3 - 29	<u>4.037.15</u>	<u>17.417</u>
Total:	19.163.65	103.894
Consumo Kg Solvente/Tm Semilla =	5.42	

El costo promedio de 1 Tm de solvente es de US\$ 200.= con lo que el ahorro conseguido es:

$$(6.59 - 5.42) \times 19.163.65 \times (200/1.000) = \underline{\text{US\$ 4.484.3 en 6 meses}}$$

diseño, el gasto sería de 20 galones/minuto. Sin embargo, en la práctica las temperaturas de agua a la entrada y salida de los condensadores en los extremos son de 27 y 34°C, respectivamente (80.6 y 93.2°F) lo que da una diferencia de 12.6°F. Esto hace que el consumo real sea de aproximadamente 10 galones/minuto (ver tabla 3.2).

De lo anterior se puede estimar el costo diario por consumo de agua:

$$10 \text{ glns/min} \times (60 \times 24 \times 3.785/1.000) = 54.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

A un promedio de S/.167.00 x cada m³ : Son: S/.9.102 diarios

El tratamiento del agua en el circuito representa un rubro significante. Se dosifican dos tipos de químicos: Uno algicida y uno anticorrosivo/anti-incrustante, a una razón de 6 galones/semana de cada uno; lo cual representa:

Algicida: 6 galones/semana x 4.900 sucres/galón = 29.400.00 sucres/semana.

Anticorrosivo/anti-incrustante: 6 galones/semana x 2.783 sucres/galón = 22.698.00 sucres/semana.

Siendo un motor de 20 HP, el consumo de energía eléctrica es de aproximadamente S/.3.044.00 diarios.

El costo del KW/hr es de S/.8.5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se revisó en el capítulo de análisis de resultados, si bien es cierto que las condiciones de operación han mejorado notablemente, no lo es menos que el consumo de agua, y su tratamiento se ha visto incrementado ostensiblemente. Actualmente, la Fábrica consume hasta 500 m³/día de agua potable, y se dice de un aumento sensible, no solamente desde el punto de vista económico sino tomando en cuenta la dificultad de la empresa de disponer del líquido dada su ubicación.

En muchos problemas de ingeniería pueden presentarse varias alternativas que, luego de haberse escogido una definitiva, puede quedar la duda de que pudo escogerse otra mejor solución. Sin embargo, el resultado obtenido lleva a la conclusión de que se ha superado un grave problema que verdaderamente preocupaba por las varias razones ya expuestas.

Las pérdidas debido a paralización de esta Planta dependen de varios factores que no se analizan en este informe, pero hay que enfatizar que el ahorro obtenido por haber superado esta situación, supera con creces cualquier desventaja que se ha presentado con las modificaciones implementadas. Sumando a esto la mejor condición de seguridad lograda, se puede afirmar que las modificaciones han sido un éxito casi desde todo punto de vista.

Hay un hecho que vale la pena hacer resaltar, y es que el utilizar agua potable ha aliviado el trabajo de la pileta de decantación, son aproximadamente 200 m³/hr de agua que ya no se absorben de la misma, haciendo que el agua de río sedimente mejor los sólidos. Esto último aumenta

tará los intervalos de tiempo para la limpieza de las piletas y las bombas aumentarán su vida útil al manejar agua con menos sólidos agresivos.

A pesar de que se ha hecho un balance del consumo de solvente y se ha logrado detectar una disminución notable que equipara al consumo de agua, el verdadero logro de las modificaciones se las puede ir evaluando con el transcurso del tiempo. Se hace necesario programar períodos de inspección que vayan comprometidos con los programas de producción, a fin de determinar el estado de los condensadores y realizar balances en cuanto a consumo de solvente, agua, energía, y otros gastos, para luego sacar nuevas conclusiones que se esperan sean satisfactorias a los intereses de la empresa.

Las condiciones actuales que vive la ciudad respecto al agua potable, hacen pensar que el líquido vital será cada vez más difícil de conseguir, urge considerar las siguientes recomendaciones:

1. Disminuir el consumo de agua implementando medidas tendientes a recuperarla al máximo, como:

- Estudiar la posibilidad de retorno de condensado al cuarto de calderos desde varios sectores de la Planta que no disponen de retorno, por ejemplo: Tanques de aceite crudo, fraccionamiento, etc.
- Concientizar a todo nivel la necesidad de ahorro de agua.

2. Potabilizar el agua de río: Dicho estudio debe prever un análisis del método más idóneo, a fin de que la operación sea lo menos costosa y con equipos correctamente seleccionados.

A P E N D I C E A

PROPIEDADES DE ACEITES DE SOYA Y PALMISTE

	<u>S o y a</u>	<u>Palmiste</u>
Peso específico a 15°C	0.89	0.89
Calor específico (Kcal/Kg °C)	0.57	0.5
Viscosidad dinámica a 20°C (CENTIPOISES)	57	38
Punto de ebullición a 1 atm (°C)	360-370	354-370
Punto de fusión (°C)	20	24
Composición (%)	<u>Grasas Saturadas</u>	<u>Grasas Saturadas</u>
	Mirístico: 0.1	Caprónico: 0.2-0.4
	Esteárico: 7-10	Cáprico: 3 - 5
	Palmítico: 5- 7	Caprílico: 3.5-4.5
	Aráquico: 0.3-0.9	Láurico: 48 - 52
		Mirístico: 15 - 17
		Palmítico: 7 - 9
		Esteárico: 1 - 3
	<u>Grasas no Saturadas</u>	<u>Grasas no Saturadas</u>
	Miristoleico: 0.1	Oleico: 12 ~ 14
	Palmitoleico: 0.4	Linoleico: 1 - 3
	Oleico: 19-25	
	Gadeico: 0.1-0.3	
	Linoleico: 50-55	
	Licánico: 6-10	

A P E N D I C E B

P R O P I E D A D E S D E L H E X A N O

Peso molecular	86
Peso específico (15°C)	0.680
Punto de ebullición	68.60°C
Calor latente de evaporación (Kcal/Kg)	79.4
Calor específico de líquido a 15°C (Kcal/Kg°C)	0.527
Calor específico de vapor a 15°C (Kcal/Kg°C)	0.339
Presión de vapor a 38°C (PSI)	5
Temperatura de ignición (°C)	260
Punto de inflamación en recipiente cerrado (°C)	(-26)
Punto de fusión (°C)	94
Límite de explosión (en porcentaje volumétrico)	2.4, 4.8
Toxicidad a 20°C (mg/m ³)	10.800
Viscosidad dinámica a 40°C (Centipoises)	0.28

A P E N D I C E C

PERDIDAS DE PRESION EN TUBERIAS CED.40

(LIBRAS/PULGADA CUADRADA/PIE DE TUBERIA)

QPM	PIPE SIZE (WATER)	VISCOSITY, SSU																10,000
		32	60	100	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	
$\frac{1}{2}$	.033	.050	.14	.26	.40	.67	.12	.13	.33	.45	.60	.75	.85	.92	.42	.50	.54	6.0
	.013	.020	.053	.11	.24	.35	.47	.60	.13	.18	.24	.30	.35	.42	.50	.54	.60	2.0
	.0018	.0065	.018	.038	.060	.12	.16	.20	.40	.60	.80	.10	.12	.14	.16	.18	.20	
$\frac{3}{4}$	.060	.10	.13	.27	.50	.85	.11	.14	.28	.43	.60	.70	.85	.92	.45	.52	.59	.73
$\frac{5}{8}$	.014	.013	.044	.090	.18	.36	.50	.65	.90	.14	.19	.23	.28	.32	.37	.41	.46	
	.0045	.0060	.016	.035	.070	.10	.13	.18	.33	.50	.70	.85	.10	.12	.13	.16	.18	
	.0011	.0020	.0058	.011	.023	.035	.046	.059	.17	.24	.29	.34	.40	.46	.52	.59	.67	
$\frac{1}{4}$	.029	.043	.060	.13	.26	.40	.57	.65	.70	.20	.26	.32	.40	.43	.52	.59	.65	
$\frac{1}{2}$	.0090	.0092	.018	.030	.10	.13	.20	.25	.50	.72	.10	.13	.15	.18	.20	.22	.25	
	.0022	.0028	.0079	.016	.033	.050	.066	.083	.17	.25	.33	.41	.50	.56	.66	.72	.80	
	.0012	.0015	.0041	.0090	.018	.027	.036	.045	.090	.12	.19	.23	.27	.32	.36	.40	.45	
$\frac{7}{8}$	.055	.073	.090	.19	.36	.55	.73	.90	.18	.28	.36	.43	.53	.62	.73	.81	.90	
$\frac{1}{4}$	.016	.025	.032	.070	.14	.21	.24	.35	.50	.70	.11	.14	.18	.21	.25	.28	.33	
	.0040	.009	.011	.023	.046	.070	.092	.11	.23	.35	.46	.60	.70	.80	.92	.10	.11	
	.0019	.0021	.0060	.013	.025	.048	.050	.062	.13	.19	.25	.31	.37	.43	.50	.55	.60	
$\frac{1}{2}$	.10	.14	.14	.24	.32	.40	.11	.13	.26	.40	.52	.64	.80	.90				
$\frac{1}{4}$	.030	.043	.047	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50
	.0080	.013	.016	.033	.066	.10	.13	.17	.34	.50	.68	.85	.10	.12	.13	.15	.17	
	.0015	.0015	.0055	.018	.036	.053	.071	.090	.13	.27	.35	.43	.54	.62	.71	.81	.90	
$\frac{1}{16}$	.004	.007	.014	.13	.30	.45	.60	.73	.15	.23	.30	.38	.45	.52	.60	.68	.75	
$\frac{1}{8}$	.016	.025	.030	.10	.15	.20	.25	.30	.50	.75	.10	.13	.15	.18	.20	.23	.25	
	.0075	.011	.013	.026	.052	.080	.11	.13	.24	.40	.52	.66	.80	.92	.11	.12	.13	
	.0012	.0018	.0036	.0047	.016	.020	.030	.040	.050	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	
$\frac{1}{32}$	.009	.012	.017	.030	.060	.090	.12	.15	.24	.40	.50	.60	.70	.80	.90			
$\frac{1}{16}$	.073	.090	.093	.060	.12	.18	.24	.30	.60	.80	.18	.22	.38	.45	.52	.60	.68	
	.011	.016	.018	.032	.064	.094	.13	.16	.32	.49	.63	.72	.82	.90	.11	.12	.13	
	.0031	.0030	.0036	.012	.024	.040	.050	.060	.12	.17	.24	.30	.36	.42	.50	.55	.60	
$\frac{1}{64}$	.090	.12	.17	.18	.36	.54	.70	.90	.18	.28	.38	.45	.52	.61	.70	.80	.90	
$\frac{1}{32}$	.023	.030	.033	.060	.12	.18	.24	.30	.60	.80	.18	.22	.38	.45	.52	.60	.68	
	.011	.016	.018	.032	.064	.094	.13	.16	.32	.49	.63	.72	.82	.90	.11	.12	.13	
	.0031	.0030	.0036	.012	.024	.040	.050	.060	.12	.17	.24	.30	.36	.42	.50	.55	.60	
$\frac{1}{128}$	.11	.15	.20	.28	.40	.60	.80	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
$\frac{1}{64}$	.028	.040	.065	.13	.20	.26	.32	.45	.65	.10	.13	.16	.20	.23	.26	.30	.33	
	.013	.018	.019	.036	.071	.11	.15	.18	.36	.53	.70	.80	.90	.10	.12	.13	.17	
	.0039	.0038	.0061	.013	.026	.040	.054	.067	.13	.20	.37	.44	.50	.54	.60	.67	.73	
$\frac{1}{256}$	.042	.060	.075	.080	.16	.25	.34	.44	.64	.10	.13	.17	.21	.25	.29	.34	.37	
$\frac{1}{128}$	.029	.035	.045	.090	.13	.18	.23	.33	.45	.67	.10	.13	.16	.20	.23	.26	.30	
	.012	.018	.027	.037	.053	.080	.11	.15	.27	.47	.63	.73	.83	.92	.10	.12	.13	
	.0025	.0036	.0038	.0040	.016	.025	.036	.040	.060	.14	.20	.30	.37	.42	.50	.57	.63	
$\frac{1}{512}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{256}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{1024}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{512}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{2048}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{1024}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{4096}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{2048}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{8192}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{4096}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{16384}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{8192}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{32768}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{16384}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90		
	.0024	.0047	.0048	.0093	.019	.030	.039	.047	.098	.15	.20	.30	.35	.40	.48	.52	.56	
$\frac{1}{65536}$	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.70	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	
$\frac{1}{32768}$	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.26	.32	.52	.80	.10	.13	.16	.21	.24	.28	
	.010	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.1										

GPM	PIPE SIZE	VISCOSITY, SSU																				
		32 (Water)	50	100	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000				
120	2	.11	.14	.15	.18	.24	.32	.40	.50	.61	.75	.90	.10	.13	.15	.17	.19	.20	.24	.29	.32	.40
	2½	.045	.060	.075	.078	.076	.12	.13	.19	.40	.60	.77	.99	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.18	.22	.28
	3	.015	.010	.026	.032	.033	.030	.065	.080	.16	.23	.32	.40	.50	.56	.60	.65	.69	.72	.80		
	4	.0040	.0037	.0072	.010	.011	.017	.023	.024	.054	.063	.11	.14	.17	.19	.22	.24	.28	.32	.34	.38	
140	2½	.060	.078	.10	.11	.14	.18	.23	.25	.35	.48	.68	.90	.11	.13	.16	.18	.20	.23	.27	.30	.33
	3	.010	.017	.034	.018	.038	.058	.076	.095	.19	.39	.58	.74	.86	.98	.10	.10	.10	.10	.10	.10	.10
	4	.0054	.0075	.0098	.011	.013	.020	.025	.031	.063	.10	.13	.16	.20	.23	.25	.28	.30	.33	.35	.38	
	6	.00067	.0010	.0013	.0013	.0024	.0057	.0010	.0060	.012	.016	.024	.030	.037	.042	.050	.055	.060	.065	.070	.075	
150	2½	.065	.085	.11	.13	.14	.19	.24	.26	.30	.40	.50	.60	.70	.83	.92	.10	.10	.10	.10	.10	.10
	3	.012	.020	.030	.028	.040	.050	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	.10	.10	.10	.10
	4	.0060	.0095	.011	.013	.014	.021	.027	.035	.078	.10	.14	.17	.21	.24	.27	.30	.32	.35	.38	.40	
	6	.00073	.0111	.0013	.0013	.0026	.0040	.0055	.0065	.013	.020	.026	.036	.040	.047	.052	.058	.065	.070	.075	.080	
160	2½	.072	.10	.11	.11	.15	.20	.25	.30	.45	.65	.80	.95	.10	.13	.15	.18	.20	.23	.25	.28	.30
	3	.013	.023	.035	.034	.044	.050	.065	.087	.11	.22	.33	.44	.55	.65	.76	.87	.98	.10	.10	.10	.10
	4	.0070	.0195	.012	.014	.013	.022	.030	.037	.073	.11	.15	.18	.22	.26	.30	.33	.36	.38	.40	.42	
	6	.00086	.0012	.0015	.0015	.0020	.0042	.0055	.0070	.014	.021	.028	.035	.041	.049	.055	.064	.070	.075	.080		
180	2½	.10	.13	.13	.18	.18	.23	.29	.38	.47	.67	.81	.93	.10	.13	.13	.18	.20	.23	.26	.29	.30
	3	.032	.043	.053	.052	.065	.071	.074	.10	.12	.21	.37	.50	.60	.70	.83	.93	.10	.10	.10	.10	.10
	4	.0084	.012	.015	.016	.014	.025	.032	.041	.081	.13	.17	.21	.25	.30	.32	.37	.41	.42	.45	.48	
	6	.0011	.0016	.0020	.0020	.0027	.0047	.0063	.0080	.016	.033	.031	.040	.045	.053	.063	.070	.075	.080	.085		
200	2½	.12	.14	.18	.19	.20	.25	.32	.49	.69	.90	.10	.13	.16	.19	.22	.25	.28	.32	.35	.38	
	3	.040	.053	.064	.075	.078	.081	.11	.13	.27	.45	.55	.63	.70	.81	.93	.10	.10	.10	.10	.10	.10
	4	.010	.014	.018	.020	.020	.027	.032	.036	.045	.090	.14	.18	.22	.26	.30	.32	.36	.41	.45	.48	
	6	.0013	.0019	.0025	.0025	.0035	.0050	.0070	.0089	.018	.026	.035	.045	.053	.060	.070	.075	.080	.085	.090		
250	3	.060	.075	.097	.10	.11	.11	.14	.17	.27	.36	.46	.50	.58	.64	.70	.76	.81	.87	.93	.98	
	4	.016	.021	.026	.031	.033	.035	.045	.058	.11	.19	.23	.29	.35	.40	.45	.52	.57	.64	.70	.75	
	6	.0020	.0028	.0035	.0042	.0044	.0066	.0084	.0111	.022	.033	.044	.053	.060	.068	.077	.086	.099	.101	.104	.107	
	8	.00051	.0079	.010	.013	.015	.022	.027	.037	.055	.11	.15	.19	.23	.28	.32	.37	.42	.47	.52	.57	
300	3	.085	.10	.13	.13	.17	.18	.18	.21	.20	.40	.60	.80	.10	.12	.14	.16	.18	.20	.22	.24	.26
	4	.012	.030	.036	.042	.044	.045	.045	.070	.14	.21	.28	.33	.42	.46	.51	.55	.60	.64	.68	.72	.76
	6	.0028	.0040	.0050	.0058	.0060	.0080	.0100	.013	.026	.040	.052	.065	.060	.090	.10	.11	.13	.14	.15	.16	
	8	.0070	.0111	.014	.017	.018	.027	.032	.045	.070	.13	.16	.20	.24	.27	.30	.33	.37	.40	.43	.46	
400	3	.15	.18	.21	.25	.26	.27	.28	.38	.56	.84	.11	.14	.17	.18	.21	.24	.28	.31	.34	.38	
	4	.040	.050	.060	.070	.073	.075	.078	.090	.16	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	.95	.98	
	6	.0047	.0065	.0080	.010	.017	.013	.013	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.12	.14	.16	.17	.18	.20	.22	
	8	.0012	.0018	.0023	.0027	.0027	.0033	.0045	.0060	.012	.018	.024	.030	.035	.041	.045	.053	.060	.065	.070		
450	4	.048	.060	.073	.088	.095	.098	.10	.16	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	.95	.98	.99	
	6	.0060	.0080	.010	.012	.013	.013	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.12	.14	.16	.18	.20	.22	.24	.26	
	8	.0016	.0027	.0029	.0033	.0033	.0033	.0040	.0050	.0066	.013	.020	.027	.034	.040	.046	.053	.060	.065	.070		
	10	.00053	.00075	.00095	.0012	.0012	.0012	.0022	.0028	.0055	.0083	.011	.014	.016	.018	.021	.024	.027	.030	.033	.036	
500	4	.060	.071	.090	.11	.11	.13	.13	.13	.23	.35	.46	.57	.70	.80	.90	.10	.10	.10	.10	.10	.10
	6	.0074	.010	.012	.014	.016	.016	.018	.022	.035	.055	.075	.090	.10	.12	.14	.16	.18	.20	.22	.24	
	8	.0018	.0076	.0034	.0041	.0043	.0045	.0055	.0063	.015	.025	.030	.037	.045	.051	.058	.060	.066	.068	.070		
	10	.00061	.00090	.0011	.0013	.0013	.0018	.0024	.0030	.0060	.0090	.012	.015	.016	.021	.025	.027	.030	.032	.034	.036	
600	4	.085	.10	.12	.14	.17	.20	.23	.25	.38	.54	.72	.87	.10	.13	.15	.17	.19	.21	.24	.26	
	6	.010	.014	.016	.020	.027	.023	.026	.034	.051	.064	.079	.090	.10	.12	.14	.16	.18	.20	.22	.24	
	8	.0026	.0036	.0046	.0046	.0054	.0056	.0058	.0066	.0090	.018	.020	.026	.034	.044	.053	.066	.070	.080	.090		
	10	.00086	.0012	.0016	.0020	.0021	.0027	.0032	.0040	.0090	.012	.017	.022	.027	.032	.037	.042	.046	.050	.054		
750	4	.11	.15	.18	.22	.27	.28	.29	.30	.34	.51	.70	.87	.10	.13	.15	.17	.18	.20	.22	.24	
	6	.0040	.0055	.0065	.0081	.0090	.0095	.010	.011	.017	.021	.024	.026	.031	.037	.044	.053	.066	.070	.075		
	8	.0013	.0019	.0022	.0027	.0027	.0028	.0028	.0056	.0045	.0090	.014	.018	.022	.027	.032	.036	.041	.045	.048		
	10	.00013	.0019	.0027	.0034	.0034	.0033	.0033	.0035	.0070	.010	.013	.017	.021	.027	.032	.037	.042	.046	.048		
800	6	.018	.024	.027	.031	.032	.033	.033	.035	.070	.10	.13	.17	.21	.25	.28	.31	.35	.38	.41		
	8	.0046	.0067	.0080	.0093	.010	.011	.011	.011	.017	.024	.026	.026	.040	.040	.040	.040	.040	.040	.040		
	10	.0014	.0020	.0024	.0032	.0033	.0033	.0033	.0035	.0050	.0098	.013	.020	.026	.032	.036	.040	.044	.048	.052		
	12	.00040	.00090	.0011	.0014	.0015	.0015	.0016	.0016	.0021	.0044	.0024	.0047	.0070	.0093	.012	.014	.017	.022	.027		
1000	6	.028	.033	.040	.050	.057	.063	.072	.079	.080	.13	.17	.17	.20	.24	.26	.28	.30	.33	.35	.38	
	8	.0070	.0092	.010	.014	.014	.015	.015	.015	.015	.030	.045	.060	.073	.080	.080	.080	.080	.080	.080		
	10	.0022	.0030	.0038	.0047	.0047	.0048	.0049	.0049	.0056	.0060	.012	.014	.024	.030	.036	.042	.048	.055	.060		
	12	.00045	.0010	.0017	.0020	.0022	.0022	.0024	.0024	.0024	.0030	.0040	.0050	.0062	.0073	.0082	.0091	.0097	.0100	.0104		
1500	6	.030	.037	.045	.054	.063	.070	.077	.085	.090	.12	.16	.18	.23	.27	.28	.31	.36	.38	.40		
	8	.0025	.0034	.0043	.0047	.0050	.0051	.0051	.0051	.0051	.0064	.0073	.0080	.0086	.0094	.0094	.0095	.0095	.0095	.0095		
	10	.0014	.0024	.0034	.0043	.0047	.0050	.0051	.0051	.0051	.0064	.0073	.0080	.0086	.0094	.0094	.0095	.0095	.0095	.0095		
	12	.0010	.0014	.0018	.0027	.0027	.0029	.0029	.0029	.0029	.0035	.0040	.0047	.0054	.0062	.0070	.0078	.0086	.0094	.0095		