



UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**ADECUACION AL SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE ANHIDRIDO MALEICO**

P O R

MARIA DEL ROCIO LAQUILAR ANGELES

TRABAJO PRACTICO

PRESENTADO A LA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

PUEBLA, PUE.

ABRIL DE 1995



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

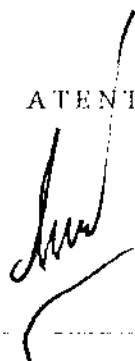
El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PUEBLA, PUE. 20 DE MARZO DE 1995

Este trabajo práctico denominado **ADECUACION AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ANHIDRIDO MALEICO**, cumple con los requisitos de calidad y contenido, por lo que la **Srita MARIA DEL ROCIO AGUILAR ANGELES** puede promover la obtencion del título de Ingeniero Químico.

ATENTAMENTE



ING. QUÍMICO HECTOR GRAF GRAF

ASESOR DEL TRABAJO

RESUMEN

El objetivo del proyecto es adecuar la planta de tratamiento de Aguas Residuales que anteriormente existía en una planta productora de Anhídrido Maléico con la finalidad de desarrollar un tratamiento del agua tal que la calidad de esta le permita ser reutilizada y así contribuir a la disminución de contaminantes industriales, así como a la reducción del volumen de agua empleado en esta planta, logrando con esto un ahorro considerable económicamente.

Los equipos implementados para el desarrollo de este trabajo son: un evaporador, dos cambiadores de calor, un Fotómetro de Flama para determinación de Sodio, dos bombas centrífugas, dos bombas de doble diafragma y 3 agitadores.

En la primera etapa del proyecto se identifican las descargas de aguas residuales de la planta; posteriormente se procede a recolectar muestras de las descargas mencionadas para identificar sus condiciones. De acuerdo al equipo con el que se dispone y las instalaciones de la planta anterior se procede a plantear un tratamiento que sea viable y que permita obtener una calidad de agua que pueda reutilizarse en alguna parte del proceso.

La segunda etapa del proyecto consiste en hacer el planteamiento de las modificaciones que requiere la planta, así como la instalación de los equipos disponibles para llevar a nivel campo el proyecto. Después de adecuar la planta para un nuevo proceso de tratamiento de sus aguas residuales se hacen las pruebas de campo que permitan estandarizar el procedimiento a seguir para la recirculación. Finalmente se concluye con el procedimiento para el funcionamiento integral de la planta y las recomendaciones pertinentes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE ANHIDRIDO MALEICO	7
2	DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE TRATAMIENTO ANTERIOR	17
3	PRUEBAS DE LABORATORIO	26
4	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRATAMIENTO PROPUESTO	34
5	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE INCINERACION DE BREAS	35
6	PLANO DE PLANTA DE TRATAMIENTO	41
7	PLANO ISOMETRICO DEL TRATAMIENTO DEL PRIMER LAVADO	42
8	PLANO ISOMETRICO DEL TRATAMIENTO DEL SEGUNDO LAVADO	43
9	CONTROL DE AGUAS DE LOS TRATAMIENTOS	52
10	LINEAS DE AGUA	53

LISTA DE TABLAS

TABLA		PAGINA
1	PROPIEDADES FISICAS DEL ANHIDRIDO MALEICO	4
2	DESCRIPCION DE LA MUESTRA Y PRUEBAS INICIALES	10
3	ELEMENTOS INORGANICOS TOXICOS SOLUBLES	11
4	ELEMENTOS ORGANICOS TOXICOS VOLATILES	12
5	COMPOSICION PORCENTUAL DE BREAS	16
6	REPORTE DE AGUAS RESIDUALES 1	27
7	REPORTE DE AGUAS RESIDUALES 2	28
8	REPORTE DE AGUAS RESIDUALES 3	29
9	REPORTE DE ANALISIS DE AGUA DE PROCESO	30
10	RELACION DE NIVEL DE FOSA-LLENADO EVAPORADOR	38
11	PRUEBA DE EVAPORADOR 1	44
12	PRUEBA DE EVAPORADOR 2	45
13	PRUEBA DE EVAPORADOR 3	45
14	PRUEBA DE EVAPORADOR 4	46
15	PRUEBA DE EVAPORADOR 5	46
16	ADICION FLOCULANTE-TEMPERATURA	48
17	PRUEBA 2o. TRATAMIENTO 1	48
18	PRUEBA 2o TRATAMIENTO 2	49
19	PRUEBA 2o TRATAMIENTO 3	49

PARA TODOS AQUELLOS QUE ME IMPULSARON A
REALIZAR UNA MAS DE MIS METAS.

AGRADEZCO EL APOYO Y LA CONFIANZA QUE EL

ING. HECTOR GRAF GRAF

ME BRINDO AL PERMITIRME SER PARTICIPE DE ESTE PROYECTO

INDICE

Resumen	iii
Lista de Figuras	iv
Lista de Tablas	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES	01
1.2 OBJETIVO	01
1.3 IMPORTANCIA DE LA PLANTA PRODUCTORA	01
1.4 GENERALIDADES DEL ANHIDRIDO MALEICO	02

CAPTULO II IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

2.1 ANALISIS DEL PROCESO	06
2.2 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	09
2.3 PLANTA DE TRATAMIENTO ANTERIOR	16

CAPITULO III PROPUESTA PARA ADECUAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL

3.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTOS	18
---------------------------------------	----

3.2 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES	18
3.3 METODOS PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE LAS MUESTRAS	20
3.4 PRUEBAS A NIVEL LABORATORIO	28
3.5 RESULTADOS DE PRUEBAS A NIVEL LABORATORIO	25
3.6 SECUENCIA DEL PROCESO	31

CAPITULO IV ADECUACIONES A LA PLANTA

4.1 IMPLEMENTACIONES DE EQUIPO DISPONIBLE	36
4.2 MODIFICACIONES A LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA	39
4.3 PLANO Y DIAGRAMAS ISOMETRICOS	40

CAPITULO V PRUEBAS DE CAMPO

5.1 MONITOREO DEL EVAPORADOR	44
5.2 MONITOREO DE ADICION DEL POLIELECTROLITO	47
5.3 MEDIDAS CORRECTIVAS	50
5.4 PRUEBAS DE LA PLANTA	50

CAPITULO VI CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES	54
6.2 RECOMENDACIONES	55

BIBLIOGRAFIA	57
--------------	----

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Nuestro planeta es un conjunto sorprendentemente complejo de compuestos químicos que están participando constantemente en una serie de reacciones interrelacionadas. Uno de los grandes placeres que produce el estudio de la Ingeniería Química es descubrir que es posible organizar esta compleja realidad en forma de un desarrollo constante unido al cuidado de los recursos naturales de los cuales sin ellos no sería posible este desarrollo.

La industria química es una de las encargadas de la generación de nuevos productos que satisfagan las nuevas necesidades de este mundo en base a los recursos naturales que en este mismo encontramos.

El agua, es una herramienta de uso común utilizada para la elaboración de diversos productos, la cual se ve alterada por contaminantes que modifican sus propiedades. Por ello es importante desarrollar sistemas que lleven a cabo procesos de mejora de la calidad del agua que ya fué utilizada para así adecuarla nuevamente al habitat en el que estamos inmersos.

1.2 OBJETIVO

Consiste en la adecuación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales en una planta productora de Anhídrido Maléico para obtener parámetros de calidad que permita reutilizar el agua y así contribuir a la disminución de contaminantes industriales, contribuyendo a beneficios como son la reducción del volumen de agua empleado en esta planta, logrando con esto un ahorro considerable económicamente.

1.3 IMPORTANCIA DEL ANHIDRIDO MALEICO

Pocas síntesis químicas orgánicas han crecido en tan espectacular alcance en cuanto a su uso y a su importancia comercial como el Anhídrido Maléico, independientemente de los beneficios que puedan causar las exploraciones y las nuevas posibilidades existentes.

En un laboratorio curiosamente en 1919, fue identificado por Weiss y Sowns como uno de los productos de la oxidación catalítica del bencol.

El Anhídrido Maléico fue primeramente ofrecido para comerciar por la National Aniline Division en 1933 y poco a poco se le encontró importancia a su uso en la manufactura de síntesis orgánicas, notablemente en resinas y en la modificación de aceites secos. Entre los factores que lo hacen tener una importancia relevante se encuentre su reactividad por ser un anhídrido dicarboxílico, su disponibilidad y su precio atractivo como volumen de salida.

Forma parte de los ingrediente esencial de productos como :

Adhesivos	Pinturas
Cuero artificial	Papel
Celofanes	Hervicidas
Detergentes	Tintas
Desinfectantes	Insecticidas
Aceites secos	Lacas
Lubricantes	Plásticos
Papel	Barniz

Las características cualitativas del Anhídrido Maléico lo coloca en un importante mercado comercial de manufactura de productos preciados y como materia prima en el desarrollo de compuestos.

El Anhídrido Maleico es una estructura química la cual es idealmente empleado para productos sintéticos. Este es el anhídrido de un ácido dicarboxílico y posee características de reacción de un anhídrido. Estos también contienen un grupo que proporciona la reactividad de una oleofina. En reacciones donde los grupos funcionales son competitivos, es posible cambiar condiciones para que la reacción se dirija hacia los resultados de diseño.

Este Anhídrido puede reaccionar con :

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| * Agua | * Hidrógeno |
| * Amidas | * Ozono |
| * Alquenos-Alcoholes | * Fosfitos |
| * Aldehidos | * Tioles |
| * Aminas | * Reactivos de Grignard |
| * Acido Cianhídrico | * Polimeros |
| * Acido Hipocloroso | * Parafinas |
| * Sulfonación | * Halógenos |
| * Hidrohalogenaciones | |

Algunos ejemplos y sus aplicaciones se presentan a continuación :

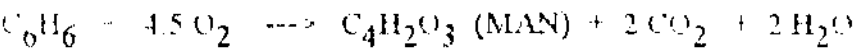
REACTIVOS	PRODUCTOS	USOS
Anh.Maléico + H-H	Acido Succínico	Adhesivo Elastómeros Poliéster Plásticos
Anh.Maléico + (H ⁺)	Acido Fumárico	Agentes Tanning Para cemento Farmaceuticos Insecticidas
Anh.Maléico + N H	Ciclohidrácido	Herbicidas
Anh.Maléico + (Metal)OH	Salas	Anticépticos Estabilizador de vinil
Anh.Maléico + H-O-H	Acido Maléico	Acidulante Fungicidas Pegamento Ag.Antigelificante

TABLA 1.

PROPIEDADES FISICAS DEL ANHIDRIDO MALEICO

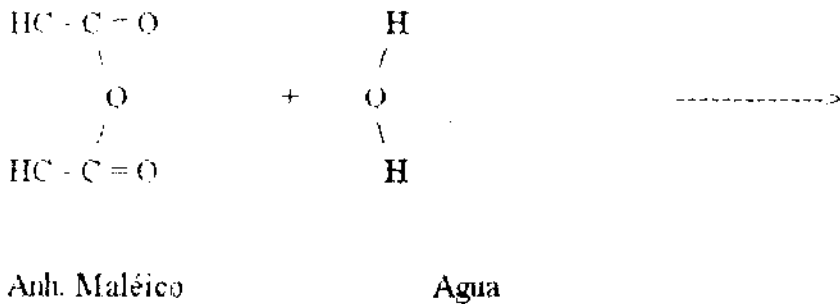
FORMULA EMPIRICA		$C_4H_2O_3$
PESO MOLECULAR		98.06
COLOR		Transparente
PUNTO DE CONGELACION		$52.8^{\circ}C$
PUNTO DE EBULLICION (760 mm)		$199.9^{\circ}C$
GRAVEDAD ESPECIFICA		
VISCOSIDAD	sólido	1.48 Milipoises
	líquido ($70^{\circ}C$)	15.3 Milipoises
	($80^{\circ}C$)	13.1 Milipoises
	($100^{\circ}C$)	9.9 Milipoises
CALOR DE FORMACION		
CALOR DE COMBUSTION	sólido	112.2 Kcal/mol
CALOR ESPECIFICO	sólido	333.9 Kcal/mol
	sólido	0.285
	líquido	0.396
CALOR DE FUSION		2.75 Kcal/mol
CALOR DE VAPORIZACION		10.5 Kcal/mol
CALOR DE HIDRACION DEL ACIDO		8.33 Kcal/mol
CALOR DE SOLUCION DEL ACIDO		-1.44 Kcal/mol
SOLUBILIDAD (gm/100 gm de solvente a $25^{\circ}C$) EN :		
BENCENO		50
TOLUENO		23.4
O-XYLENO		19.4
TETRACHLORIDE		00.60
CLOROFORMO		52.4
ACETATO DE ETILO	112.0	
ACETONA	227.0	
KEROSENO (BP 190° - 250°)	00.25	
TOXICIDAD (poca) :		
* Inflamación en membranas mucosas		
* Conjuntivitis		
* Dermatitis vesicular		
* Irritación en el tracto respiratorio		
* Náuseas temporales		

La obtención del Anhídrido Maléico es a partir del Benceno y el Oxígeno como se observa en la siguiente reacción :



El Anhídrido Maléico es favorablemente convertible en Acido Maléico por una simple hidratación en agua caliente.El ácido y estos derivados son componentes de estructura CIS, por el arreglo en el espacio de sus átomos constituyentes.

Cada componente CIS tiene la posibilidad de ser convertido a través de calor y catalisis a productos de configuración TRANS. El ácido fumárico es un típico ejemplo de componentes TRANS. Las propiedades de los dos isómeros son muy similares.

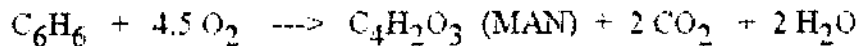


CAPITULO II

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

2.1 ANALISIS DEL PROCESO

La producción del Anhídrido Maléico consta de 2 etapas, una de ellas consiste en la obtención del Anhídrido Maléico a partir de una oxidación parcial catalítica de Benceno y Aire (Oxígeno) en un proceso continuo.



La otra etapa consiste en la refinación del Anhídrido mediante una destilación donde esta etapa es desarrollada por bloques.

FIGURA 1.

El proceso se inicia con el cambio de fase al que es sometido el Benceno líquido para pasar a fase vapor mediante un vaporizador. Por otra parte el aire de la atmósfera se hace pasar a través de un filtro que le elimina impurezas para así comprimirlo y dirigirlo a mezclarse con el benceno. Esta mezcla es alimentada al reactor donde se llevará a cabo una reacción exotérmica por lo que al mismo tiempo el reactor se enfriará mediante la alimentación de una sal que absorberá el calor y que posteriormente este calor nos permitirá la generación de vapor.

Ya concluido el tiempo de reacción el producto sale del reactor a una temperatura de 380 grados centígrados por lo que se le envía a un enfriador donde nuevamente se aprovecha esa energía para generar vapor logrando una temperatura del producto de 140 grados centígrados aproximadamente. Cabe aclarar que este producto contiene además del anhídrido maléico que se generó algunos otros compuestos que son el resultado de reacciones secundarias, carbon y exceso de aire.

DIAGRAMA DE BLOQUES PROCESO DE ANHIDRIDO MALEICO

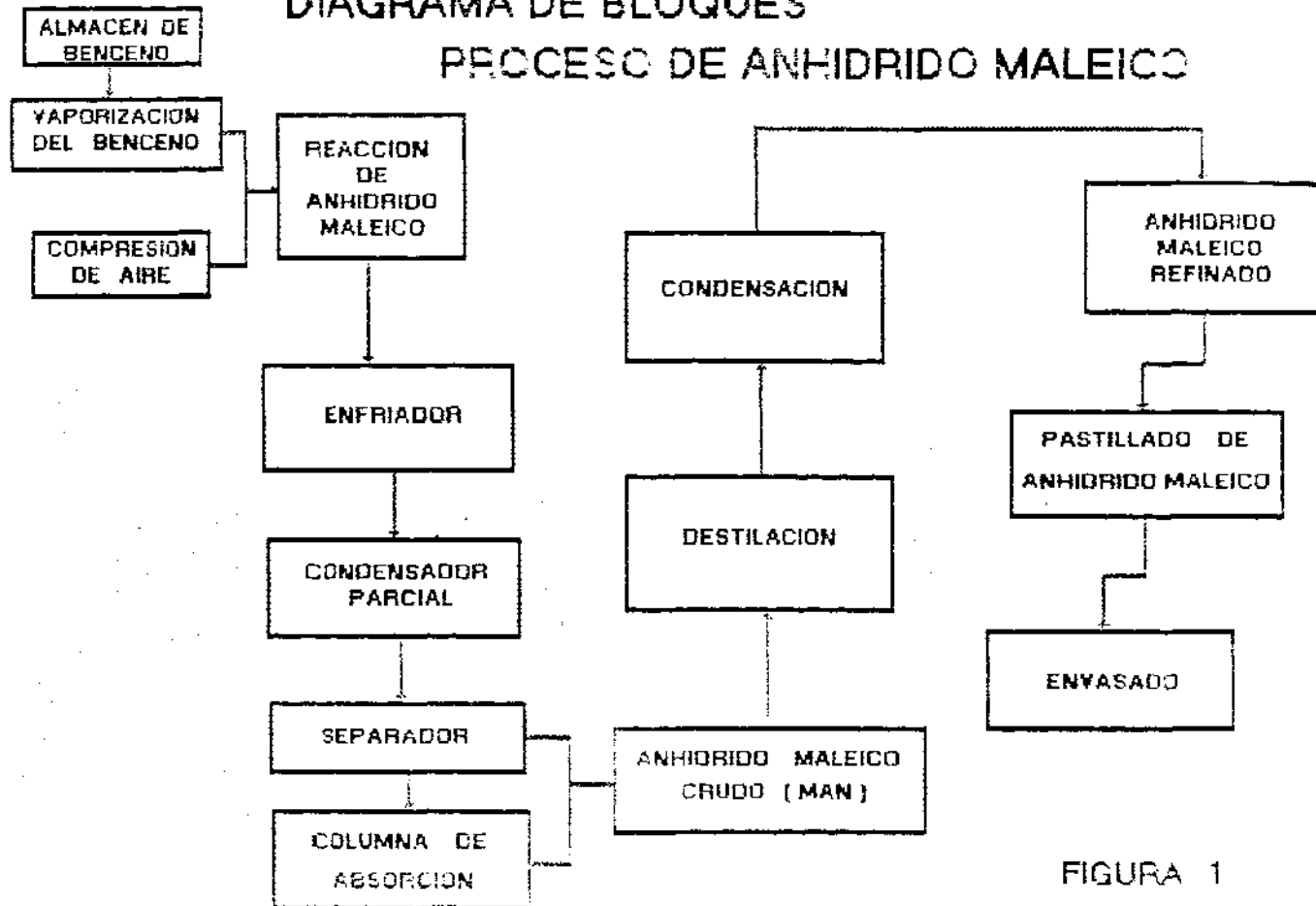


FIGURA 1

Para lograr la separación del Anhídrido Maléico se envía a un condensador parcial donde sólo se logra separar un 55% aproximadamente. Esta etapa es lograda con un separador ciclónico donde el líquido es enviado a un tanque de almacenamiento de anhídrido Maléico no refinado, mejor conocido como Maléico Crudo "MAN".

El gas procedente del separador ciclónico es enviado a una Torre de Absorción "SCRUBER" donde mediante agua el Maléico es atrapado para formar Acido Maleico que se obtiene en una concentración del 40% que es enviado a un tanque de almacenamiento de donde va a tomarse para alimentarlo a la columna de destilación a la cual también se le alimenta Orto-Xileno, para así ser sometida a reflujo por un periodo de tiempo suficiente para que el agua del ácido sea arrastrada por el Orto-Xileno y quede liberado el Anhídrido Maléico que será enviado a la olla de destilación.

Este Maléico y el obtenido del Separador Ciclónico (MAN) son alimentados a la columna de destilación para ser refinados y posteriormente enviarse al área de pastillado donde se lleva a una temperatura de 52.6 grados centígrados para ser solidificado en forma de gota y posteriormente ser envasado en sacos.

Dentro de los muchos servicios auxiliares que requiere esta planta para su buen funcionamiento se encuentra el mantenimiento en cuanto a limpieza de :

- * La pastilladora donde su lavado esta en función de factores impredecibles. Este lavado se hace con agua de pozo y vapor, lo que hace que arrastre el ácido, generando agua ácida. Es importante notar que no es frecuente que presente problemas de limpieza. El lavado de este equipo puede arrastrar Anhídrido Maléico.

- * La columna y la olla de destilación: esta consta de dos etapas; primeramente son alimentados a la olla de destilación 18 metros cúbicos de agua que se agitan durante 6 horas, para eliminar residuos de anhídrido maléico y carbón que al contacto con el agua se convierten en ácido maléico y ácido Fumárico. Durante este tiempo es posible recuperar 6 m3 de agua en el decantador que está en la parte superior de la columna, que posteriormente es vaciado a el tanque del agua de proceso.

El remanente de la olla de destilación es drenado para así eliminar gran parte del carbón, Acido Fumárico y Acido Maléico que se encuentra en la columna de destilación, que en lo sucesivo le llamaremos BREAS DE DESTILACION.

Se procede a hacer un segundo lavado donde son alimentados 10 m³ de agua que se someten a reflujo durante 3 horas, para después drenarlos, eliminando con ello todos los

residuos de la columna de destilación. Cabe señalar que la cantidad de breas que arrastra este 2o lavado de la Columna de destilación tiene una concentración mucho menor que la del primer lavado.

*Condensador parcial E 301 : Este lavado no es continuo y depende de factores del proceso. El lavado consiste en 3 etapas: la primera de ellas consiste en dar un barrido con aproximadamente 800 litros de agua de caldera par dar un enjuague al equipo, después se le suministra un nivel considerable al condensador de vapor y se le aplica vapor para que el agua hierva durante 2 horas. En este tiempo el agua arrastra los residuos existentes en el interior del equipo para ser eliminados al drenar el lavado.

Por último se repite nuevamente el lavado. El agua que se suministra para que hierva varia entre 2500 y 2900 litros, por lo que el agua que se drena en total de los lavados de este equipo es aproximadamente entre 7000 y 9000 litros.

Cabe señalar que las condiciones de las aguas drenadas en el primer lavado del Sistema de Destilación, así como las del enjuague y el primer lavado del condensador parcial son semejantes, lo que ha hecho que se clasifiquen como aguas procedentes del primer lavado, al mismo tiempo de que las aguas procedentes de los segundo lavados del sistema de destilación y del condensador, así como los lavados de la pastilladora sean conocidos como aguas procedentes del segundo lavado.

2.2 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Considerando que los principales contaminantes de la planta provienen los lavados que se extraen de la columna de destilación, y que los lavados de los otros equipos tienen una concentración similar o menor se presente a continuación un análisis de esta muestra.

MUESTRA :

Breas de Destilación de Anhídrido Maléico en solución acuosa

TABLA 2.

DESCRIPCION DE LA MUESTRA Y PRUEBAS INICIALES		
DETERMINACION	RESULTADO	METODO
ESTADO FISICO	líquido con sólidos solubles y sedimentados	Organoléptico
COLOR	Café	Organoléptico
OLOR	Picante	Organoléptico
PUNTO DE INFLAMACION	128°C	Copa Abierta
pH	1.82	Potenciométrico
SOLIDOS	83.34%	Gravimétrico

TABLA 3.

ELEMENTOS INORGANICOS TOXICOS SOLUBLES			
DETERMINACION	RESULTADO	LIM. DETEC.	LIM. MAX. PERMISIBLE
	mg/lt	mg/lt	mg/lt
		NTE-CRP-001-88	
Arsénico	N.D.	0.0002	5.0
Bario	0.064	0.008	100.0
Cadmio	N.D.	0.001	1.0
Cromo	N.D.	0.003	5.0
Mercurio	N.D.	0.000008	0.2
Plata	N.D.	0.002	5.0
Plomo	N.D.	0.01	5.0
Selenio	N.D.	0.2	1.0
N.D : No detectado			
El método utilizado de espectrofotometría de Absorción Atómica:			
a) Con flama			
b) Con horno de grafito			
c) Con generador de hidruros			

TABLA 4.

ELEMENTOS ORGANICOS TOXICOS VOLATILES	
MARCADOS POR LA NTE-CRP-001-88	
DETERMINACION	RESULTADO (mg/l)
Elementos volátiles	
No Halogenados	N.D.
Elementos semivolátiles	
Halogenados	N.D.
Plaguicidas	N.D.
Fenoles	N.D.
Hidrocarburos Clorados	N.D.
N.D : No detectado	
NOTA : La técnica de análisis utilizada fue Cromatografía de gas, utilizando como referencia los métodos de la EPA (Environmental Protection Agency).	

ANALISIS C R E T I

1.- CORROSIVIDAD

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando :

- 1) En solución acuosa presenta un pH menor ó igual a 2 ó mayor ó igual a 12.5
- 2) En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad de 6.35 mm por año o a una temperatura de 55°C

Observaciones :

- a) pH : 1.82 .en suspensión acuosa al 10%
- b) Velocidad de Corrosión: 35.01 mm/año en edo.líquido

Resultado :

**MUESTRA IDENTIFICADA COMO
RESIDUO CORROSIVO**

2.- REACTIVIDAD

Un residuo se considera peligroso por su reactividad si una muestra representativa tiene cualquiera de las siguientes características :

- 1) Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza
- 2) Es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.
- 3) Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyen un riesgo para el ambiente.
- 4) Es capaz de producir radicales libres

Observaciones :

- a) No presenta cambios violentos de Temp. y Presión normales
- b) No forma mezclas explosivas con el agua.
- c) No genera vapores tóxicos al mezclarse ligeramente o con mezclas ligeramente ácidas o básicas.
- d) No reacciona en forma violenta al someterse a fuerzas de iniciación.
- e) La muestra es un sólido que no produce radicales libres.

3.- EXPLOSIVIDAD

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando :

- 1) Es más sensible a golpes o fricciones que el dinitrobenceno.
- 2) Es capaz de producir una reacción detonante ó explosiva a una temperatura de 25°C y una presión de 1.033 Kg/cm².

Observaciones :

- a) La muestra no se degrada cuando se somete a más de 75°C durante 48 horas.
- b) La muestra no explota a temperatura y presión normales.
- c) La muestra no explota, pero si se inflama por el contacto con la flama después de tomar un color blanco.
- d) la muestra no explota al someterse a una gran fuerza de iniciación.

4.- INFLAMABILIDAD

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando :

- 1) En solución acuosa contiene más del 24% de alcohol en volumen.
- 2) es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.

3) No es líquida, pero puede causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.

4) se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

Observaciones:

a) La muestra es un sólido que no contiene alcohol

b) la muestra tiene un Punto de inflamación de 128°C.

c) la muestra no arde ni se inflama al absorber humedad.

d) la muestra es un sólido, no es un gas.

ANALISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de reactividad, explosividad, inflamabilidad y toxicidad no rebasan los límites máximos permisibles contemplados en la Norma técnica Ecológica NTE-CRP-001-88.

La prueba de corrosividad presenta un pH de 1.8 y una velocidad de corrosión de 35.01 mm/año, que corresponden a ser valores superiores a los límites máximos permisibles.

Por ellos se consideran los Residuos de Breas de destilación de Anhídrido Maleico como peligrosos por su alta corrosividad.

Los análisis anteriores fueron elaborados por el Laboratorio Nacional del Fomento de la Industria (LANFI).

Dichas marchas fueron recopiladas de Manuales Oficiales de Análisis de Aguas Residuales.

La composición porcentual de las breas es la siguiente:

TABLA 5.

COMPOSICION BREAS	
Agua	48.965%
Carbón	24.155%
Organicos	26.880%

2.3 PLANTA DE TRATAMIENTO ANTERIOR

El tratamiento dado a las descargas de la Planta de Anhídrido Maléico ha seguido el siguiente proceder :

FIGURA 2.

Las descargas son dirigidas primeramente a una trampa de breas, con el objeto de retener las breas más densas y dejar caer el agua a la fosa de neutralización donde junto con agitación se va a agregar una lechada de cal que logre formar lodos a la vez de que neutraliza el agua. Después de que el agua se homogeniza, es enviada a unos filtros de arena que separan el lodo del agua. Posteriormente los lodos obtenido se dirigen al lecho de secado, y el agua se pasa a un carcamo de bombeo de donde se tomara para enviarse a unos prefiltros que le eliminarán más partículas para prepararla a su siguiente tratamiento que es la Osmosis inversa, donde el agua es purificada.

Los problemas que presenta este tratamiento son los siguientes:

- * La generación de una cantidad exagerada de lodo debido a la adición de cal provoca un problema mayor para la eliminación de estos lodos.
- * Otro problema que presenta es que debido a la calidad del agua al llegar a la etapa de ósmosis inversa, las membranas de esta se tapan constantemente por lo que el cambio de estas eleva demasiado el costo de mantenimiento de la Planta.
- * La cal empleada para la neutralización del agua hace que se requieran lavados muy constantes del filtro de arena porque los poros de este se tapan

Lo anterior hace pensar en un planteamiento diferente para el tratamiento de las aguas residuales generadas en esta planta.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE TRATAMIENTO ANTERIOR

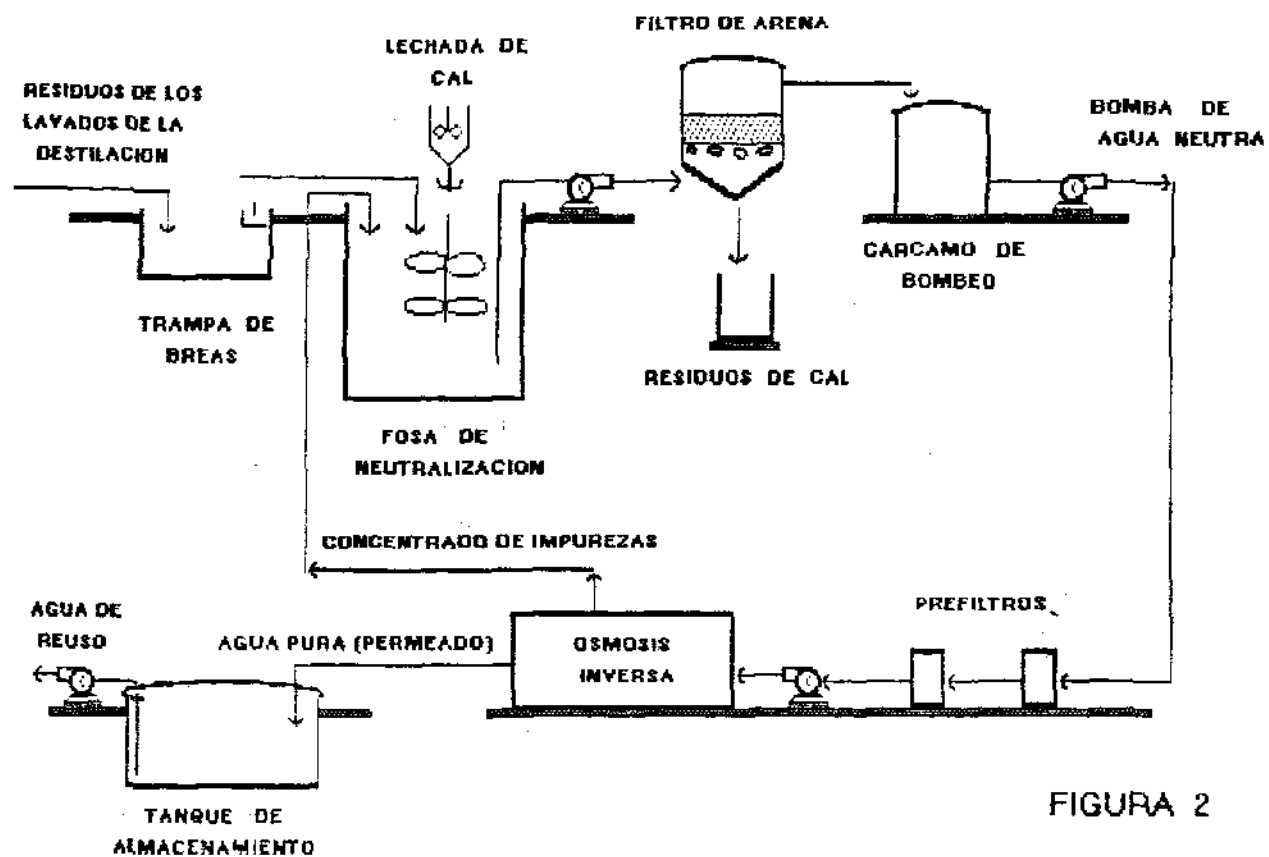


FIGURA 2

CAPITULO III

PROPUESTA PARA ADECUAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL

3.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO PROPUESTOS

Dentro de la diversidad de métodos empleados en el tratamiento de las aguas residuales se observan diferentes procedimientos en función del grado de contaminación de estas, lo que nos lleva a pensar que el tratamiento requerido para el agua procedente del primer lavado del área de destilación y el del condensador parcial debe ser diferente al que requiere el agua procedente del segundo lavado ya que la calidad de estos difiere bastante.

Deacuerdo a las observaciones que se tienen sobre los primeros lavados se tiene que :

- 1.- La cantidad de sólidos contenidos en el agua es considerable
- 2.- Las breas contenidas en el agua son altamente corrosivos por contener ácido y además están constituidas por materia orgánica

Lo anterior nos lleva a pensar que la incineración es un proceso de eliminación de los contaminantes adecuado; al mismo tiempo la deshidratación preliminar es siempre esencial para que los costos de eliminación se mantengan bajo control.

Considerando la frecuencia con la que se hacen los lavados y el espacio físico con el que se cuenta para una deshidratación de lodos, la evaporación es un proceso viable mediante el cual se pueden concentrar las breas logrando eliminar un buen porcentaje de agua de estas, además existe la posibilidad de recuperar esta agua mediante la condensación de los vapores generados por la evaporación, que en caso de no tener Sodio y de tener condiciones similares a las que tiene el agua de proceso, se autorizará que forme parte del tanque de agua de proceso.

Esta deshidratación conduce a un volumen de un 25% aproximadamente, después de la incineración la ceniza residual equivale únicamente al 5 o 10% de los sólidos originales, con lo que se reduce grandemente el problema de eliminación.

Debido a que la cantidad de sólidos en el segundo lavado es menor, es posible extraer estos sólidos mediante un proceso de floculación; este consiste en la adición de un producto químico que después de un tiempo determinado de agitación provoca la formación de flóculos suspendidos que atrapan contaminantes indeseados, generando partículas más grandes que pueden posteriormente separarse del agua por sedimentación, flotación o filtración.

Esta separación permite la clarificación del agua ya que los floculantes tienen una gran capacidad de absorción, y a la vez es posible deshidratar aun más las partículas floculadas en un lecho de secado, para reducir su volumen y posteriormente incinerarse con las breas resultantes del tratamiento dado a las aguas procedentes del primer lavado.

3.2 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

El éxito de todo un proyecto de agua puede depender de la colecta de una muestra representativa. Además se debe programar el muestreo en base a las predicciones del proceso.

Los lavados se consideran corrientes de agua de calidad relativamente constante que presentan sólidos suspendidos lo que pueden ser uno de los factores que requieran especial cuidado en el muestreo. En la línea de drenado de los lavados los sólidos suspendidos tienden a viajar a lo largo de la pared del tubo, de manera que el tubo de muestreo corresponde a ser la abertura sobre la cual se hace el drenado de los lavados con el fin de atrapar más sólidos suspendidos y que la línea de muestreo sea el flujo de la corriente de los lavados. La limpieza de las líneas de drenado y el enjuague de los recipientes con muestra son necesarios para asegurar la extracción de la muestra después de tomadas las disposiciones correctas para la línea de muestreo.

Como la periodicidad de los lavados está en función del proceso, el muestreo se realizará unos minutos después de que se comience a drenar la olla de destilación para así esperar un flujo mas constante y homogéneo. Los recipientes de muestreo son frascos de vidrio transparente y boca ancha con capacidad de un litro, de los cuales se requieren dos frascos de muestra por lavado, que son suficientes para las pruebas a realizar a nivel laboratorio.

El equipo de seguridad que se requiere para la persona que toma la muestra son guantes, mascarilla de oxígeno, lentes, casco, botas de hule y ropa impermeable ya que es posible que al contacto con la piel provoque lesiones; los lavados salen a una temperatura aproximada de 82 °C lo que consecuentemente produce vapores que contienen ácidos y que hacen mas difícil la toma de la muestra.

Una de las actividades preparatorias en algunos de los análisis fisicoquímicos de las muestras es un mezclado que permita homogenizarla, debido a que se ha observado que las breas contenidas en mayor concentración en los lavados van solidificandose conforme su temperatura comienza a descender.

3.3 METODOS PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE LAS MUESTRAS

Dentro de las pruebas consideradas importantes para determinar la eficiencia de los tratamientos aplicados a las muestras y los parámetros de estas, se tienen los siguientes procedimientos.

DETERMINACION DE ACIDEZ COMO ACIDO MALEICO %

- I.- Verter un poco de muestra en un vaso de precipitados de 5 ml. y pesarlo (P1).
- II.- Vaciar cuidadosamente de 2 a 3 ml. de muestra del vaso a un Matraz Erlenmeyer de 250 ml. y volver a pesar el vaso, anotando el peso (P2).
- III.- Restar P2 de P1 para tener el peso de la muestra.
- IV.- Adicionar al matraz Erlenmeyer 50 ml. de agua destilada.
- V.- Agregar en seguida 5 ó 6 gotas de indicador fenolftaleina y agitar perfectamente.
- VI.- Titular con solución de Hidróxido de Sodio 0.5 Normal (o semejante) hasta tener una coloración rosa anotando los mililitros gastados.

Calculos :

$$\% \text{ Acido Maléico} = \frac{(\text{NaOH}) (\text{N. NaOH}) (5.804)}{\text{Grs. de muestra}}$$

DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES

METODO : Conos Imhoff

- I.- Agitar perfectamente la muestra
- II.- Llenar un cono Imhoff hasta la marca de un litro
- III.- Dejar sedimentar por 45 minutos
- IV.- Agitar las paredes del cono con una varilla de vidrio.
- V.- Dejar reposar otros 15 minutos más.
- VI.- Registrar el volumen de materia sedimentable en el cono indicando el resultado en ml/lt.

DETERMINACION DE LOS SOLIDOS TOTALES

- I.- Poner a peso constante una cápsula de porcelana (P1)
- II.- Colocar 50 ml u otro volumen de muestra en la cápsula de porcelana.
- III.- Evaporar a sequedad en una estufa a 103°C durante el tiempo necesario.
- IV.- Enfriar en un desecador.
- V.- Pesar y registrar dicho peso (P2).

Cálculos :

$$\text{mg/lit} = \frac{(\text{P2-P1}) \text{ en gr.} \times 10^6}{\text{ml de muestra.}}$$

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

- I.- Poner a peso constante un crisol Gooch (P4)
- II.- Filtrar 50 ml u otro volumen de muestra en el crisol.
- III.- Secar en una estufa a 103°C durante 1 hora.
- IV.- Enfriar en un desecador.
- V.- Pesar y registrar el peso (P5).

Cálculos:

$$\text{mg/lit} = \frac{(\text{P5-P4}) \text{ en gr.} \times 10^6}{\text{ml. de muestra}}$$

62758

DETERMINACION DE SODIO

Método : Fotómetro de Flama

La espectroscopia de Emisión de Flama proporciona un método sensible y rápido de análisis para metales alcalinos en el agua. El método es menos sensible y más propenso a interferencia que el de espectroscopia de absorción atómica pero requiere sólo alrededor de la mitad del tiempo.

Instrucciones de Operación :

- 1) Abrir la tapa de el área de control del Aparato
- 2) Oprimir el boton de encendido del aparato
- 3) Abrir la fuente de suministro de gas
- 4) Desmontar el cubo que encierra a el área de la flama
- 5) Mover el botón de entrada de gas al Flamómetro
- 6) Abrir lentamente el boton de entrada de gas a la vez de que se acerca una flama para encender la flama del aparato.
- 7) Abrir el suministro de oxígeno hasta una presión aproximada de 1 Kg/cm^2
- 8) Llenar uno de los recipientes para muestra con solución Sterox para que limpie la aguja.
- 9) Elevar la Solución Sterox a la aguja que succiona la muestra y dejarlo hasta que se termine la solución.
- 10) Colocar las muestras en los recipientes que contiene el Aparato
- 11) Elevar el blanco a la aguja que succiona la muestra
- 12) Ajustar a cero la escala del flamómetro
- 13) Elevar la muestra a la aguja del Flamómetro
- 14) Leer el valor registrado e interpretarlo deacuerdo a una curva de calibración

PROCEDIMIENTO DE PREPARACION DE CURVA DE CALIBRACION

Pesar 0.2542 gr de NaCl que diluidos en 1 litro equivale a 100 ppm de Sodio. Posteriormente hacer diluciones para preparar las siguientes muestras en ppm :

ppm	Unidades
0.1	76
0.3	78.6
0.5	80.5
0.7	82.5
0.9	85.5
1.1	88
1.3	92
1.5	94.5
1.7	98

DETERMINACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (D . Q . O .)

EQUIPO :

- 1.- Un aparato de reflujo que conste de matraz, condensador y parrilla para calentar

MATERIAL POR EQUIPO :

- 1.- Probeta de 50 ml
- 2.- Pipetas de 10 ml
- 3.- Pizeta con agua destilada
- 4.- Frasco gotero con Ferroín
- 5.- Bureta
- 6.- perlas de vidrio

REACTIVOS :

1.- SOLUCION PATRON DE DICROMATO DE POTASIO 0.25 N

Disolver 12.259 gr. de $K_2Cr_2O_7$ previamente secado a $103^\circ C$ por 2 horas en agua destilada diluir a 1000 ml.

2.- REACTIVO DE ACIDO SULFURICO

Pese 22.0 gr. de Sulfato de Plata (Ag_2SO_4) por cada 4 Kg de ácido sulfúrico concentrado.

3.- SOLUCION PATRON DE SULFATO FERROSO AMONIACAL 0.1 N

Disuelva 39 gr. de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ en agua destilada adicionar 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y diluir a 1000 ml.

ESTANDARIZACION

Diluir 10 ml de la solución de Dicromato de Potasio (0.25 N) a cerca de 100 ml de agua, adicionando 30 ml de ácido sulfúrico concentrado. Dejar que enfrie. Titule con el Sulfato Ferrosol Amoniacal, usando 2 ó 3 gotas del indicador de Ferroín.

NORMALIDAD DEL SULFATO FERROSO AMONIACAL

$$\text{ml de } K_2Cr_2O_7 \times 0.2$$

=

$$\text{ml gastados de } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$$

1.- INDICADOR FERROIN

Disolver 1.485 gr. de 1,10 Fenantrolina Monohidratada, junto con 0.695 gr. de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 100 ml.

5.- SULFATO DE PLATA

6.- SULFATO DE MERCURIO

Grado Analítico.

PROCEDIMIENTO

1.-Tomar un matraz de bola de 500 ml y otro para correr el testigo

2.- Agregar 20 ml de agua destilada

3.- Verificar la conductividad de la muestra, y de acuerdo a esta elegir la cantidad de muestra necesaria.

4.- Quitar al matraz los ml de agua destilada que se vayan a agregar de muestra (Ejemplo : Si voy a agregar 5 ml de Muestra, quito 5 ml de agua destilada).

5.- Agregue al matraz 0.1 gr. de Sulfato Mercúrico.

6.- Adicione 4 perlas de vidrio o trozos de piedra pomex.

7.- Agregue al matraz 5 ml de Acido

8.- Agregar 10 ml de Dicromato de Potasio 0.25 N y mezcle, coloque el matraz en el condensador y ponga a funcionar los condensadores sin calentar (abrir solamente la llave del agua que va a enfriar)

9.- Agregue lentamente 30 ml de la solución de Acido Sulfúrico ya con Sulfato de Plata por la parte abierta del condensador (parte superior) . y agitar antes de aplicar calor. Si no se agita puede existir calentamiento en el fondo del matraz y la muestra puede ser expulsada del condensador.

10.- Aplicar calor y poner a reflujo por dos horas (Considere 10 minutos adicionales de calentamiento para que la muestra comience a ebulir).

11.- Cubrir la entrada del condensador (parte superior) con un vaso pequeño, para evitar la entrada de material extraño.

12.- Después del reflujo, apagar la fuente de calor, enfriar y lavar el condensador con agua destilada.

13.- Diluir el volumen al doble con el agua destilada (incluyendo la usada para lavar el condensador). Enfriar a temperatura ambiente.

14.- Retirar el matraz, y agregar 2 ó 3 gotas de ferroín como indicador.

15.- Titular la solución con Sulfato Ferroso Amoniacal 0.1 N

16.- El virre de titulación es de azul-verde a un café-rojizo.

17.- Llevar al mismo tiempo un testigo de agua destilada con el mismo volumen que se usó de la muestra siguiendo los mismos pasos.

CALCULOS

$$\text{DQO mg/l} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ml muestra}}$$

A : ml de Sulfato Ferroso Amoniacal usados en el testigo

B : ml de Sulfato Ferroso Amoniacal usados en la muestra

N : Normalidad del Sulfato Ferroso Amoniacal.

3.4 PRUEBAS A NIVEL LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio con respecto a la evaporación que se quiere realizar al primer lavado, se hace colocando una muestra de 100 ml. de las breas del primer lavado en un matraz de bola conectado a un refrigerante para que condensen los vapores. Ver figura 3.A

Mediante una estufa se somete a calentamiento para evaporar el agua de la muestra e ir concentrando las breas a la vez de que se van condensando los vapores mediante agua de enfriamiento en circulación. El tiempo de evaporación se dará en función de la concentración que en las breas se observe, y que estas puedan extraerse fácilmente del matraz.

Para la prueba realizada al segundo lavado, se toma una muestra de 500 ml. y se agita, posteriormente se agrega una cantidad determinada de floculante COLLOID QA-501, previamente preparado en solución acuosa al 20%. Se agita durante un tiempo determinado, aproximadamente un minuto para que se formen los flóculos. Se deja en reposo para que sedimenten los sólidos y se observa que volumen de sólidos sedimentó. Ver figura 3.B

3.5 PARAMETRO DE MUESTRAS Y SUS PRUEBAS A NIVEL LABORATORIO

A continuación se presentan algunos de los reportes de los análisis y pruebas hechas a las muestras

PRUEBAS DE LABORATORIO

PRIMER LAVADO

SEGUNDO LAVADO

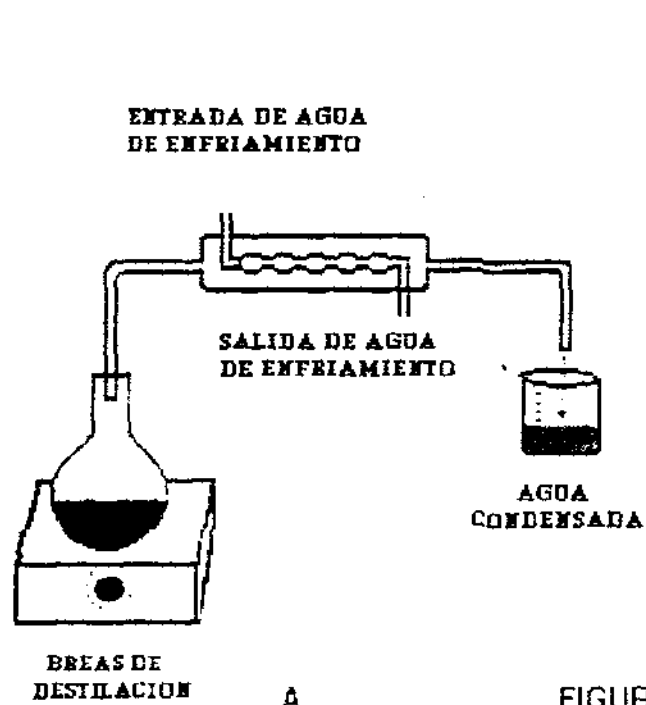


FIGURA 3.

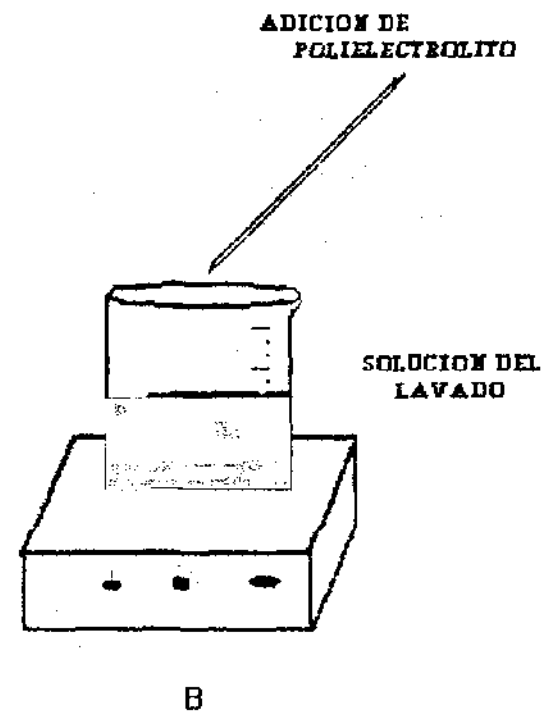


TABLA 6.

REPORTE DE AGUAS RESIDUALES		
MUESTRA	1er lavado	2o lavado
Ph	1.44	2.15
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	19760	2830
TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)	21.2	21.3
COLOR	café-negro	café-oscuro
% ACIDEZ	2.33	0.0941
SOLIDOS SEDIMENTABLES (ppm)	15	0.9
SOLIDOS TOTALES (ppm)	206490	6730
SOLIDOS SUSPENDIDOS (ppm)	6270	280
DQO (ppm)	7560	5480
TRATAMIENTO	Evaporación	Floculación
CONDICIONES DE TRATAMIENTO	1 Hr de evap.	1.8 ml floc. al 20%
Ph	2.07	2.25
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	3540	2090
COLOR	Incoloro	Amarillo
% ACIDEZ	1.45	0.086
DQO (ppm)	728.0	420.0
SODIO (ppm)	N.D	
OBSERVACIONES	SE EVAPORO EL 70% DEL AGUA DE LAS BREAS SE OBSERVO QUE A ALTAS TEMPERATURAS HAY MAYOR ARRASTRE DE BREAS EN LA EVAPORA - CION.	

TABLA 7.

REPORTE DE AGUAS RESIDUALES		
MUESTRA	1er lavado	2o lavado
Ph	0.45	1.58
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	13640	4500
TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)	20.4	19.1
COLOR	café-negro	café-oscuro
% ACIDEZ	3.29	1.36
SOLIDOS SEDIMENTABLES (ppm)	20	1.6
SOLIDOS TOTALES (ppm)	382040	5880
SOLIDOS SUSPENDIDOS (ppm)	8420	340
DQO (ppm)	6520	3750
TRATAMIENTO	Evaporación	Floculación
CONDICIONES DE TRATAMIENTO	1 hr de evap.	1.5 ml floc. al 20%
pH	1.25	2.42
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	9250	4250
COLOR	Incoloro	Amarillo claro
% ACIDEZ	3.09	1.08
DQO (ppm)	638.0	4040
SODIO (ppm)	N.D	
OBSERVACIONES		
SE EVAPORO EL 75% DEL AGUA DE LAS BREAS SE OBTUVO UN VOLUMEN DEL 12% DE SOLIDOS SEDIMENTADOS EN LA FLOCULACION.		

TABLA 8.

REPORTE DE AGUAS RESIDUALES		
MUESTRA	1er lavado	2o lavado
Ph	1.46	2.43
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	16600	2190
TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)	18.7	19.9
COLOR	café-negro	café-oscuro
% ACIDEZ	2.46	1.35
SOLIDOS SEDIMENTABLES (ppm)	10	2.0
SOLIDOS TOTALES (ppm)	34677	475
SOLIDOS SUSPENDIDOS (ppm)	981	15
DQO (ppm)	7060	4800
TRATAMIENTO	Evaporación	Floculación
CONDICIONES DE TRATAMIENTO	1:10 hr evap.	1.5 ml. floc al 20%
pH	2.17	2.69
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	4300	1730
COLOR	Incoloro	Amarillo claro
% ACIDEZ	0.309	0.157
DQO (ppm)	620.0	410
SODIO (ppm)	N.D	
OBSERVACIONES		
SE EVAPORO EL 60% DEL AGUA DE LAS BREAS EN LA FLOCULACION SE LOGRA SEDIMENTAR - EL 15% EN VOLUMEN DE SOLIDOS.		

Pensando en la posibilidad de que el agua condensada de la evaporación de las breas sea reutilizada, se hizo un análisis del agua de proceso empleada, la cual es almacenada en un tanque conocido como F-900.

TABLA 9.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA DE PROCESO	
Ph	2.23
CONDUCTIVIDAD (μ mhos/cm)	542
TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)	24.2
% ACIDEZ	0.1225
DQO (ppm)	420
COLOR	Incoloro

De los análisis y las pruebas realizadas se observa lo siguiente :

El análisis del primer lavado muestra que se tienen un agua sumamente ácida , con una cantidad considerable de sólidos que se ve reflejado en su conductividad. también se observa que a menor temperatura las breas se van solidificando. Por otra parte la evaporación reduce bastante el volumen de las breas, y la cantidad de agua que logra separarse es de un 60 - 80%; esta agua se observa es incolora por lo que se logra hacer una buena separación de breas, además sus condiciones de Ph y Conductividad y DQO se ven disminuidas.

Se observó que es importante no eliminar totalmente el agua que contienen las breas, ya que estas se solidifican y es difícil sacarlas del matraz.

En el siguiente lavado se tiene un agua ácida con condiciones menos críticas que las del lavado anterior, la cual al aplicarle un floculante son sedimentados gran parte de sus sólidos lo que la clarifica a un color amarillo y además reduce sus parámetros como la acidez, la conductividad, la DQO y otras.

Comparando el agua obtenida de la evaporación y el agua de proceso empleada en esta planta se tiene cierta similitud por lo que es posible que esta pueda formar parte del agua de proceso.

3.6 SECUENCIA DEL PROCESO

1er LAVADO.

Al drenar el primer lavado se piensa retener 13 m³ en la fosa de agua ácida, estos se dejarán enfriar hasta una temperatura de 50°C para que las breas se solidifiquen un poco. posteriormente se bombeará el agua a un tanque evaporador, donde se va a vaporizar aproximadamente el 80% del agua cargada al evaporador. El vapor de agua que se obtendrá se mandará por medio de un tubo de 2 pulgadas de acero inoxidable a un cambiador de calor que condensará estos vapores y el agua condensada posteriormente se mandarán al tanque de almacenamiento de agua de proceso.

El 20% aproximadamente de breas concentradas que quedan en el evaporador se drenarán nuevamente a la fosa de agua ácida. Esta operación se repetirá hasta extraerle de un 70 a 80% de agua a todas las breas, estas estarán listas en la fosa de agua ácida para ser colocadas en la parte norte de la fosa de agua ácida, donde se piensa que cristalice totalmente al contacto con la superficie fría y el medio ambiente, posteriormente se levantarán las breas y serán almacenadas en sacos para enviarse a incinerar.

2o. LAVADO

Al drenar el 2o. lavado con 10 m³ de agua ácida, esta se mandará totalmente a la fosa de floculación F1, aquí se agitará hasta que la temperatura baje a 40°C, posteriormente se tratará con adición de polielectrolito previamente preparado como una solución al 20% , para eliminar el color y sólidos suspendidos presentes en el agua, después de 10 horas de sedimentación se formarán natas densas en el fondo de la fosa por lo que se empezará a bombear el agua clarificada por medio de una bomba Wilden de acero inoxidable hacia la fosa de almacenamiento de agua ácida recuperada F2.

Los lodos remanentes en la fosa de floculación se bombearán con una bomba wilden hacia el lecho de secado donde terminará de secar. El agua ácida recuperada en la fosa de almacenamiento se mandará por medio de una bomba centrífuga hacia la olla de destilación D-402, para formar parte del agua empleada en el proximo primer lavado.

El polielectrolito que se propone actue como floculante tiene las siguientes características:

NOMBRE : Colloid QA-501

Es un polielectrolito catiónico, de consistencia gelatinosa, de alto peso molecular y soluble en agua. Su función es la de clarificar aguas y líquidos con material en suspensión.

Entre las ventajas con las que cuenta es que es un producto 100% activo, se disuelve fácilmente, forma floculos firmes y estables y facilita la remoción del color en el agua o líquido a clarificar.

Entre sus características generales se tiene que :

APARIENCIA :	líquido amarillo
PESO ESPECIFICO:	1.0+/-0.15
VIDA UTIL :	Hasta 20 meses
VISCOSIDAD(0.1% H2O)	200-400 qp
MATERIAL ACTIVO :	99-100%
PRECIO :	N\$ 12.00 litro
PRESENTACION :	Tambo de 200 litros

En el caso de que el agua recuperada que se almacena en la fosa F2 no sea suficiente para alimentar el agua que requiere el primer lavado siguiente, se deberá completar con el agua de pozo que se encuentra en la fosa que almacena esta agua.

FIGURA 4

El proceso de incineración no forma parte de las instalaciones de esta planta, sin embargo es posible contar con el ya que la planta que lo emplea forma parte del grupo industrial al que pertenece esta.

El procedimiento que se seguirá para la incineración de las breas deshidratadas será es siguiente.

FIGURA 5.

Los sacos de breas son vaciados y suministrados lentamente a un triturador que les dara un tamaño menor y más homogeneidad, posterior- mente será pulverizada y se recogerá en sacos nuevamente. Este proceso de pulverización requiere de un equipo colector de polvos capaz de atrapar las partículas que se encuentran en el aire.

La segunda etapa consiste en el vaciado de los sacos de breas pulverizadas a una tolva que tiene una rejilla que impide el paso de posibles partículas de mayor tamaño. La tolva las hace llegar a un tornillo transportador a través del cual se le suministra mediante un ventilador aire que además de permitir el avance de las breas pulverizadas al incinerador, permite la alimentación de aire para la combustión de las breas en el incinerador.

El incinerador consta de dos cámaras, cada una de ellas posee dos quemadores los cuales inician la combustión; en la parte media de las cámaras existe un indicador de temperatura que registra temperaturas entre 900 y 1000°C por lo que se considera se lleva a cabo una combustión completa. En caso de que la combustión no sea completa existe en la parte final de este incinerador, un área de lavado de gases, en donde mediante un espray de agua son atrapados los gases que se pudiesen generar y no salgan a la chimenea. Este equipo además cuenta con equipos auxiliares para su funcionamiento como son los controladores respectivos del incinerador, un analizador que mantiene un registro constante de las emisiones de Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y de Oxígeno, el cual permite controlar las emisiones a la atmósfera.

De acuerdo a los resultados del analizador, la combustión de las breas se realiza en un 99.99 %, lo que hace que las emisiones a la atmósfera sean de Dióxido de Carbono y el agua espreada recibe cantidades mínimas de residuos sólidos. Esta agua que atrapó los residuos generados en la incineración son enviados a la planta de tratamiento de aguas anexa a esta área de tratamientos, la cual no representa mayor problema.

FIGURA 4

DIAGRAMA DE BLOQUES DE
PROCESO DE TRATAMIENTO PROPUESTO

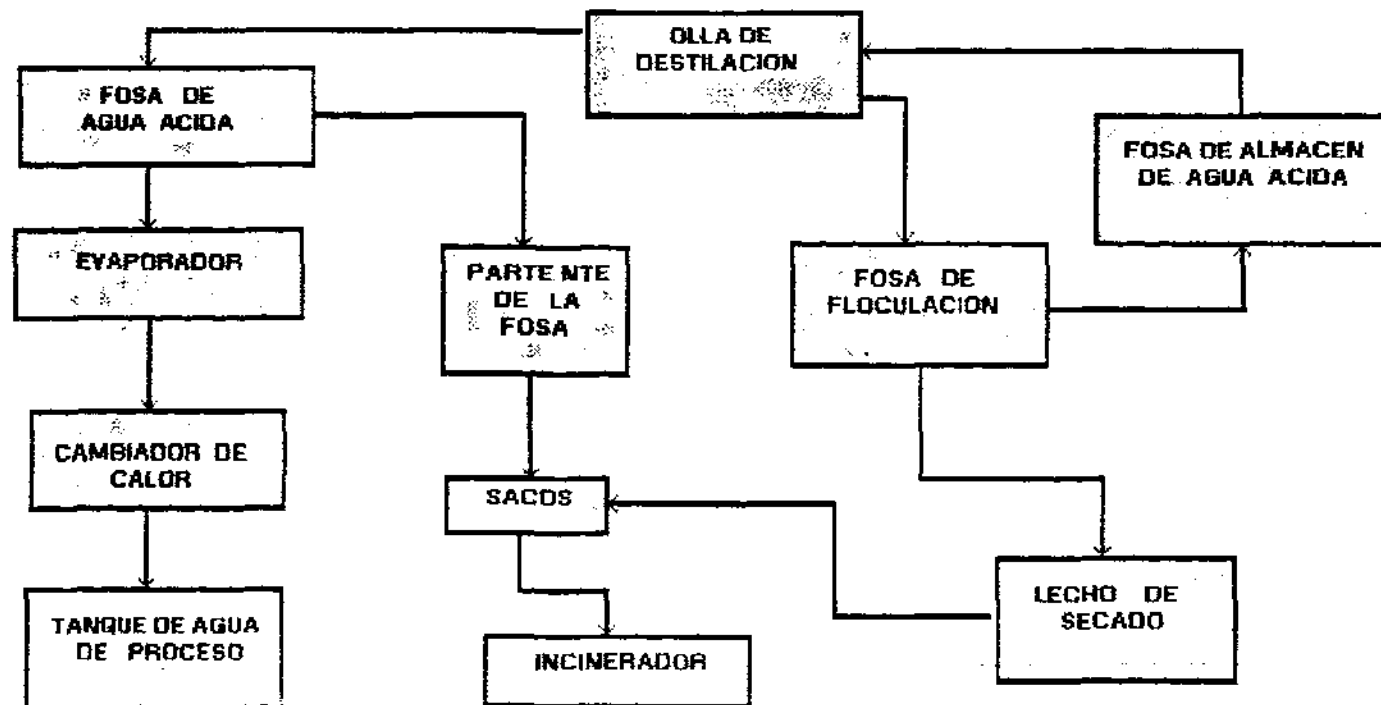
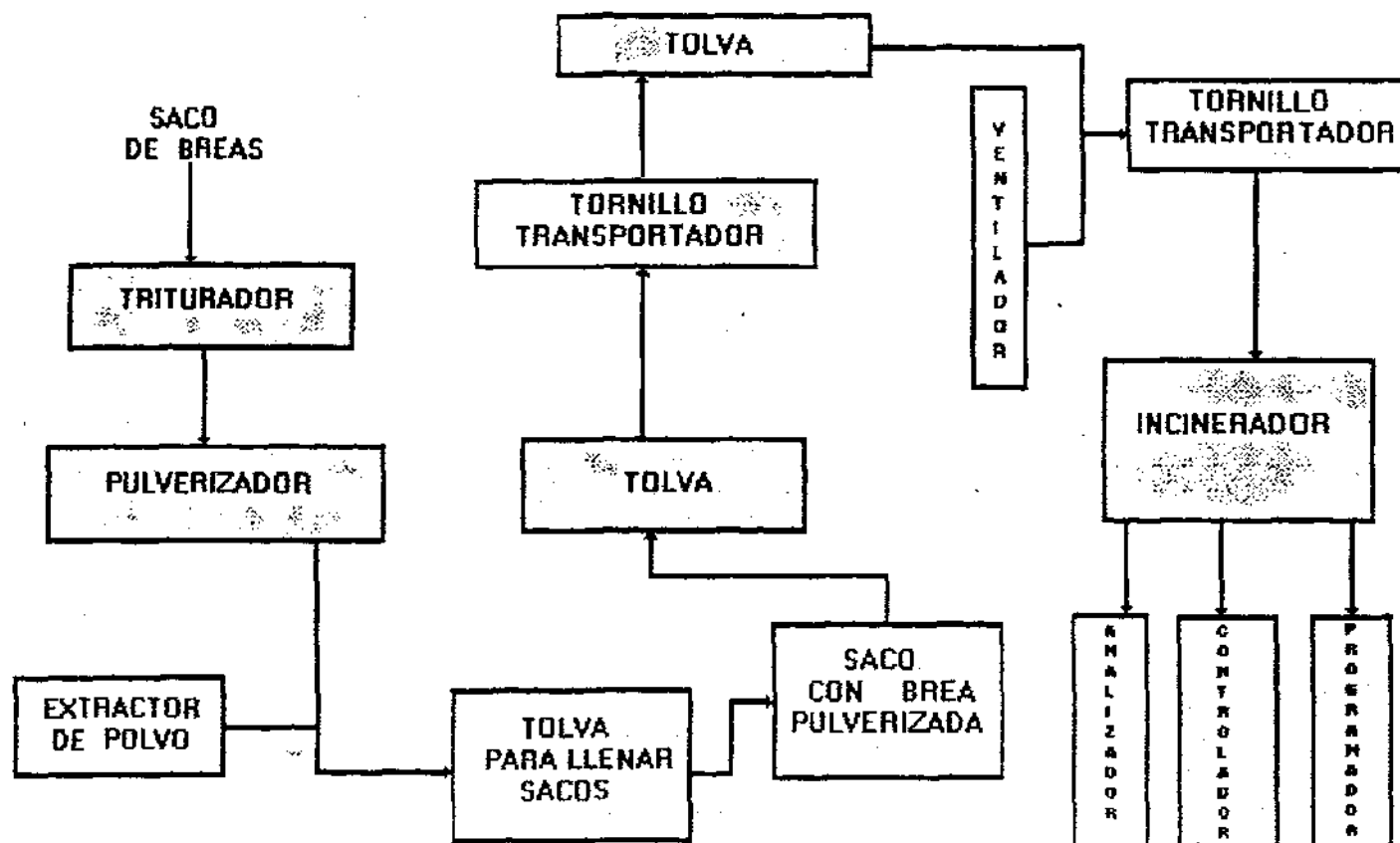


FIGURA 5

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE INCINERACION



CAPITULO IV

ADECUACIONES A LA PLANTA

4.1 IMPLEMENTACIONES DE EQUIPO DISPONIBLE

El equipo que se implemento para llevar a cabo el tratamiento de los lavados es el siguiente :

* Instalación de una bomba centrífuga, la cual es identificada como G-909, esta tiene la función de llevar el agua acida que es recuperada a partir del proceso de floculación hacia la olla de destilación D-402. La bomba tiene las siguientes especificaciones :

Construcción de Acero inoxidable 316
con sello mecánico
con impulsor
carbón, cerámica, vitón/ac
5 HP
Tipo Worthington
Mod Delta 4x3x8
Acoplada a motor eléctrico MCA
Bomba soln. acuosa de Anh. Maléico
Gasto 250 gpm
Presió 1.5 Kg/cm²

* Instalacion de una bomba de doble diafragma, la cual es identificada como G-911, esta tiene la función de cargar las breas de la fosa del primer lavado hacia el evaporador. La bomba tienen las siguientes especificaciones :

Bomba M4/ST/TF/TF/ST
Construida con Ac. Inox 316 y
Diafragma de Teflón
Bolas de Asiento de Teflón
Asientos de Bola de Ac. Inox/Teflón
5 HP
Gasto 219 lpm
Máxima medida de sólidos 3/16 "
operada con aire
Max p aire 8.75 Kg/cm²

Max consumo aire 102 m³/h

* Se requirió la instalación de 2 mangueras :

Una de ella fué para el trasiego de agua ácida recuperada del proceso de floculación de la fosa de floculación a la fosa de agua clarificada. Esta tiene un diámetro de 3 pulgadas.

La otra se empleo para la succión de las breas de la fosa del primer lavado hacia el evaporador. Esta tiene un diámetro de 1 ½ pulgada.

* La instalación de válvulas que se requirieron fueron entre otras :

Válvulas de Globo : para la entrada al tanque F-900

Válvula de Globo para purga de los Cambiadores de Calor

Válvula de Angulo : para el agua de enfriamiento de un cambiador de calor.

Válvula de Compuerta : para el agua de enfriamiento de otro cambiador de calor.

* La instalación de compuertas fué necesaria en el canal por el cual es recibido el drenado de la olla de destilación D-402 con la finalidad de desviar los lavados hacia la fosa del primer lavado ó bien hacia la fosa de floculación. En esta parte del canal se requirieron 3 compuertas.

* Instalación de un evaporador horizontal, de operación intermitente, que tiene las siguientes especificaciones :

Diámetro 1.2m

Volumen total 3900 lt

Largo 3.2 m

Tanque de Acero Inoxidable

Temperatura de Diseño 175°C

Presión de Diseño 1.75 Kg/cm²

Serpentin interno

Instrumentado con termometro y barometro

Con disco de ruptura

Trampa de vapor

La siguiente tabla muestra una relación entre el nivel de la fosa de agua del primer lavado, y el llenado del tanque de evaporación, la cual se empleará para conocer el porcentaje al que se está llenando el evaporador, deacuerdo al nivel desplazado en la fosa.

TABLA 10.

dh de fosa cm.	Alim. Evaporador , lts.	Cap. Evapor. %
1	207.23	5.31
2	414.54	10.63
3	621.84	15.94
4	829.15	21.26
5	1036.46	26.58
6	1243.77	31.89
7	1451.08	37.21
8	1658.38	42.52
9	1865.69	47.84
10	2073.00	53.15
11	2280.31	58.47
12	2487.61	63.78
13	2694.92	69.10
14	2902.23	74.41
15	3109.54	79.73
16	3316.85	85.05
17	3524.15	90.36
18	3731.46	95.68
18.5	3835.12	98.34

* La instalación de los Condensadores a contra corriente identificados como E-901 y E-902 los cuales se forman de un tubo externo de 3 pulgadas en acero al carbón por el que pasa el agua de enfriamiento, y un tubo interior de 2 pulgadas en acero inoxidable a travez del cual son condensados los vapores ácidos que salen del evaporador.

* La instalación de tubería fué de líneas recuperadas que ya no estaban en funcionamiento y se colocaron para lo siguiente :

Tubería de Acero inoxidable de 2½ pulgadas : para llevar vapor de agua ácida a los condensadores.

Tubería de Acero al carbón de 1½ pulgadas : para el agua de enfriamiento que entra y sale de los condensadores.

Tubería de Acero inoxidable de 3 pulgadas : para la alimentación de la Olla de destilación para un nuevo lavado, de agua clarificada y ácida, recuperada del proceso de floculación.

Tubería de Acero al Carbón de 4 pulgadas para llevar agua de pozo a la olla de destilación para un nuevo lavado.

* Las instalaciones eléctricas que requiere la bomba centrífuga se hicieron paralelas a las intalaciones eléctricas que ya existían de los agitadores de la fosa.

4.2 MODIFICACIONES A LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA

* División de la fosa de floculación:

En un principio la fosa media 7x7x2 metros de altura, y esta se dividió en 2 mediante un muro de 21 cm de ancho, quedando de la siguiente manera :

FOSA DE:	FLOCULACION	AGUA CLARIFICADA
MEDIDAS:	7 X 3.59 X 2	7 X 3.25 X 2
VOLUMEN:	$h_1 \times 25.13$	$h_2 \times 22.75$

*** Recubrimiento antiácido de la fosa de floculación :**

Para este se empleo una resina conocida como ATLAC 382 a base de bisfenol -A polyester conocida como standar en la industria de la resistencia a la corrosión, la cual tiene una resistencia al Anhídrido Maléico a una temperatura hasta de 110°C.

*** Recubrimiento del lecho de secado**

Este se hace con pasta de asfalto, posteriormente se le coloca una capa de gravilla que cubre el tubo de PVC por el cual se van a filtrar la poca agua ácida que contengan los sólidos sedimentados en la floculación.

4.3 PLANOS Y DIAGRAMAS ISOMETRICOS

En la Figura 6 se observa el Plano en Planta de lo que constituye en conjunto la Planta de tratamiento.

En la Figura 7 se observa el Plano isométrico del área donde se realiza el tratamiento al primer lavado

En la Figura 8 se observa el Plano isométrico del área donde se realiza el tratamiento al segundo lavado.

Especificaciones de Nomenclatura :

E : Cambiadores de Calor

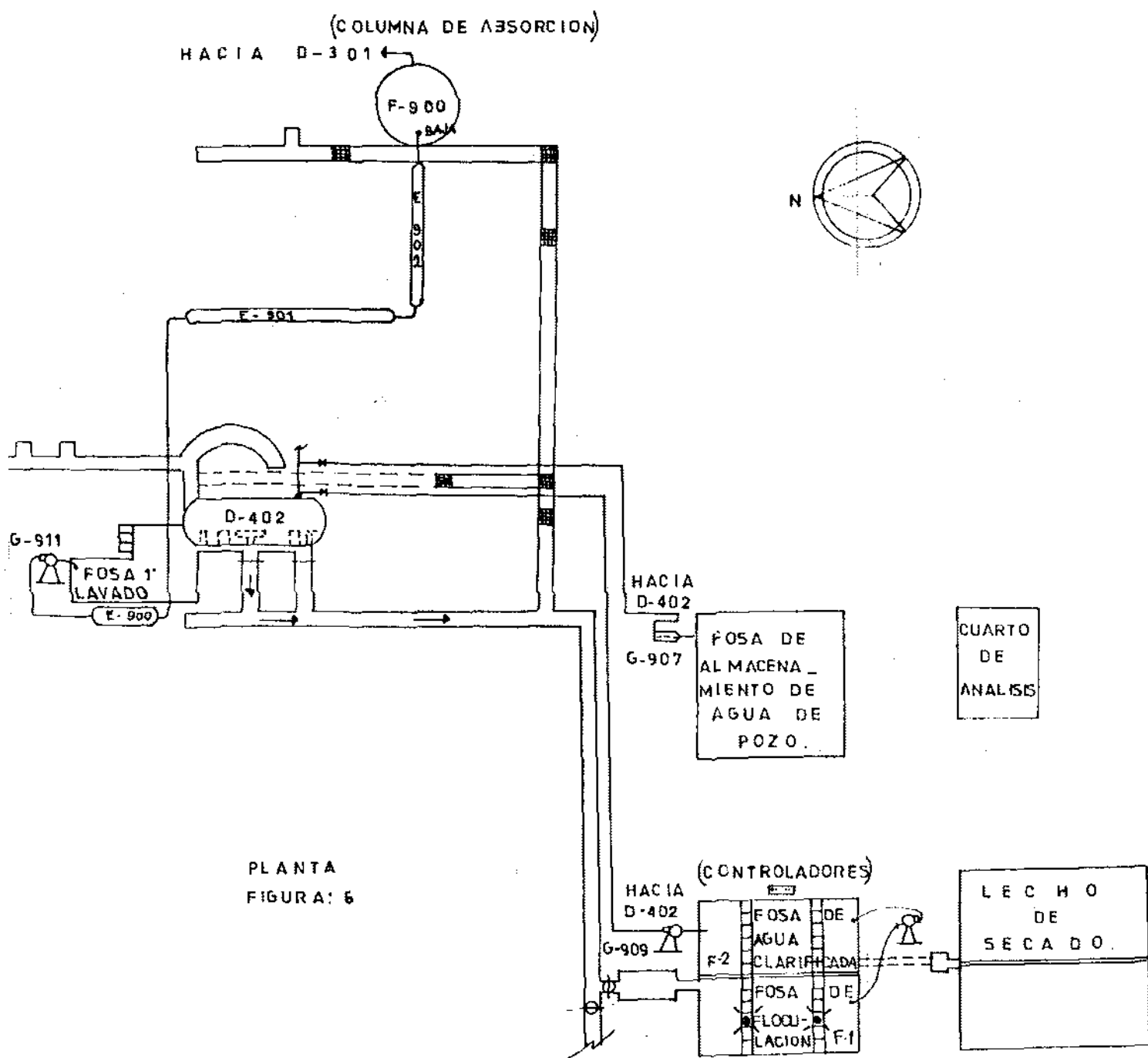
F : Tanques

G : Bombas

D : Sistema de Destilación

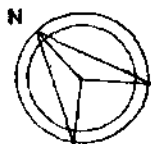
AC: Acero al Carbón

AI: Acero Inoxidable

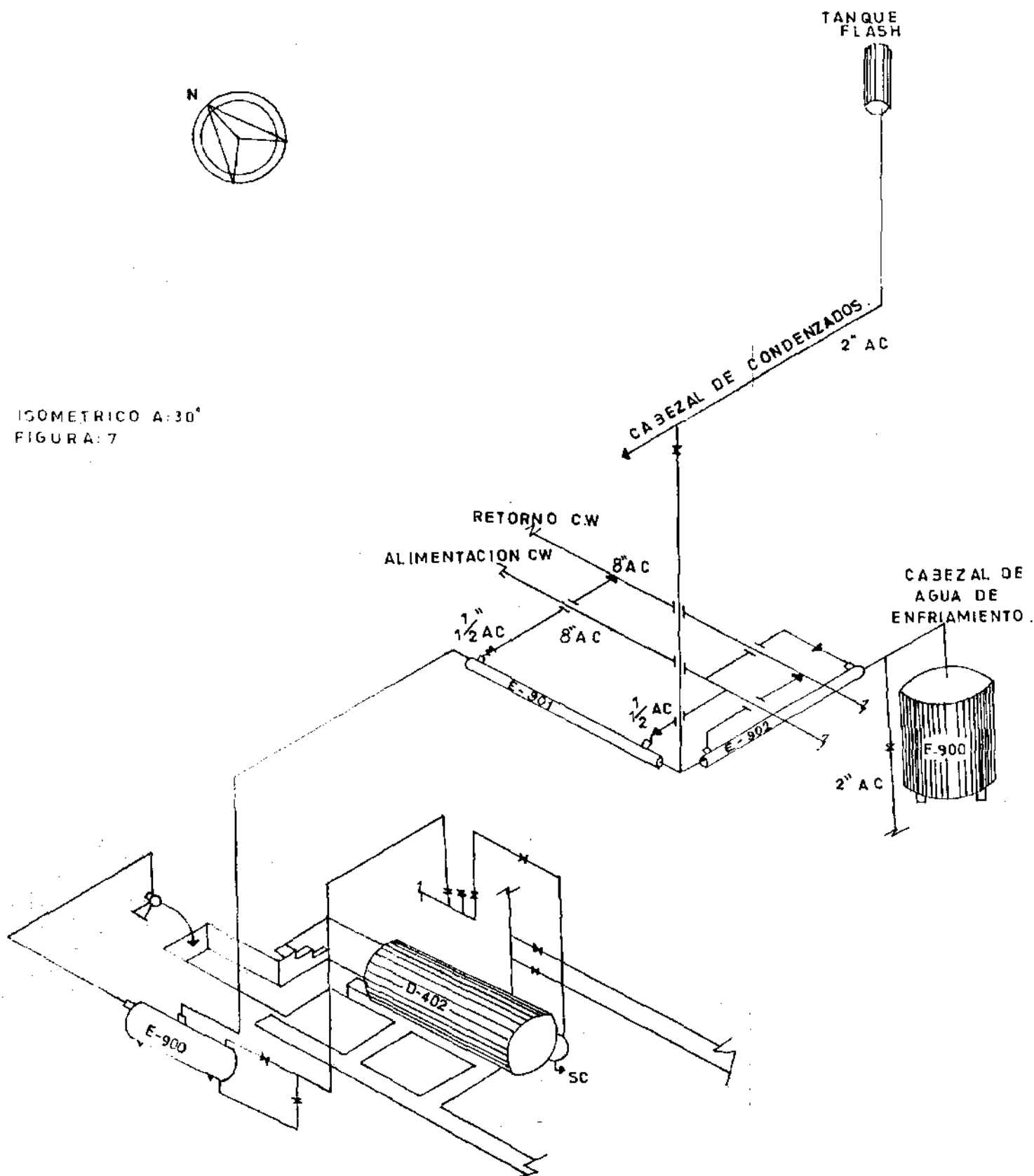


PLANTA
FIGURA: 6

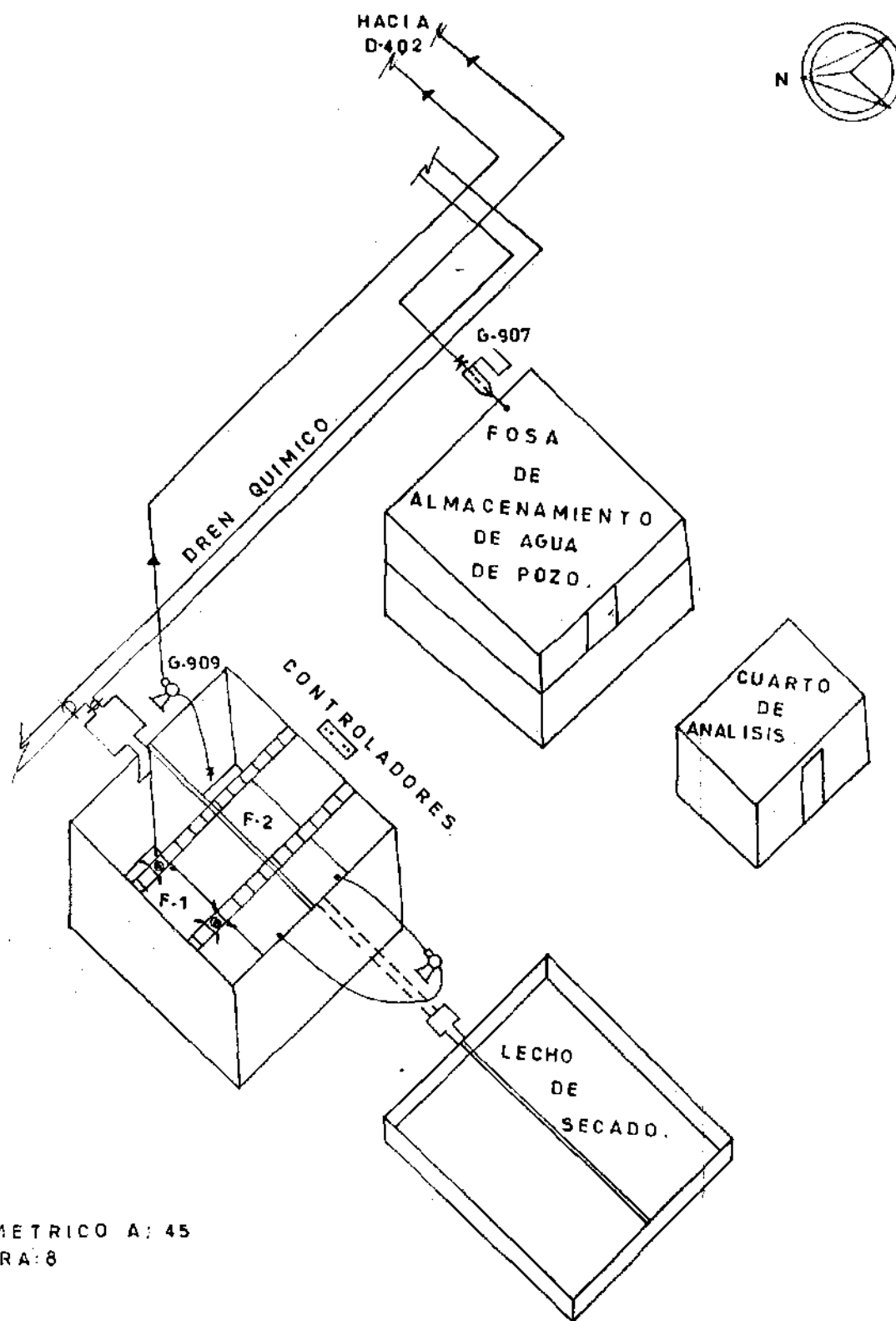
PLANTA DE TRATAMIENTO.



ISOMETRICO A:30°
FIGURA: 7



PLANTA DE TRATAMIENTO DEL 1° LAVADO.



ISOMETRICO A: 45
FIGURA: 8

PLANTA DE TRATAMIENTO DEL 2° LAVADO.

CAPITULO V

PRUEBAS DE CAMPO

5.1 MONITOREO DEL EVAPORADOR

El tratamiento de evaporación se lleva a cabo de la siguiente manera :

- 1.- Se abre la válvula de aire para que la bomba G-911 succione las breas de la fosa de primer lavado hacia el tanque evaporador.
- 2.- Se alinea el vapor de 25 Kg para hacerlo pasar por el serpentín. para que comience a calentar y posteriormente a evaporar.
- 3.- Se deja de bombear al evaporador hasta que de acuerdo a la tabla 10 el evaporador este de un 70-85% lleno.

Algunas de las pruebas realizadas con el evaporador se muestran en las siguientes tablas :

TABLA 11.

PRUEBA DEL EVAPORADOR 1	
Tiempo de Alimentación (min)	30
Diferencia de altura de la fosa (cm)	15
Alimentación al evaporador (lt)	2900
Presión en el evaporador (Kg/cm ²)	0.14
Tiempo que tarda en salir condensado (min)	25
Flujo de salida de condensado (lt/hr)	269
% de agua a recuperar	70
Litros de agua a recuperar	2030
Tiempo estimado de evaporación (hr)	7.5
Determinación de Sodio (ppm)	0

TABLA 12.

PRUEBA DEL EVAPORADOR 2	
Tiempo de Alimentación (min)	45
Diferencia de altura de la fosa (cm)	14
Alimentación al evaporador (lt)	3010
Presión en el evaporador (Kg/cm ²)	0.1
Tiempo que tarda en salir condensado (min)	150
Flujo de salida de condensado (lt/hr)	254.3
% de agua a recuperar	80
Litros de agua a recuperar	2408
Tiempo estimado de evaporación (hr)	9.5
Determinación de Sodio (ppm)	0

TABLA 13.

PRUEBA DEL EVAPORADOR 3	
Tiempo de Alimentación (min)	30
Diferencia de altura de la fosa (cm)	13
Alimentación al evaporador (lt)	2795
Presión en el evaporador (Kg/cm ²)	0.14
Tiempo que tarda en salir condensado (min)	23
Flujo de salida de condensado (lt/hr)	344
% de agua a recuperar	80
Litros de agua a recuperar	2236
Tiempo estimado de evaporación (hr)	6.5
Determinación de Sodio (ppm)	0

TABLA 14.

PRUEBA DEL EVAPORADOR 4	
Tiempo de Alimentación (min)	25
Diferencia de altura de la fosa (cm)	10
Alimentación al evaporador (lt)	1970
Presión en el evaporador (Kg/cm ²)	0.18
Tiempo que tarda en salir condensado (min)	55
Flujo de salida de condensado (lt/hr)	352
% de agua a recuperar	85
Litros de agua a recuperar	1674
Tiempo estimado de evaporación (hr)	4.75
Determinación de Sodio (ppm)	0

TABLA 15.

PRUEBA DEL EVAPORADOR 5	
Tiempo de Alimentación (min)	40
Diferencia de altura de la fosa (cm)	15.4
Alimentación al evaporador (lt)	2990
Presión en el evaporador (Kg/cm ²)	0.18
Tiempo que tarda en salir condensado (min)	40
Flujo de salida de condensado (lt/hr)	350
% de agua a recuperar	80
Litros de agua a recuperar	2392
Tiempo estimado de evaporación (hr)	6.8
Determinación de Sodio (ppm)	0

5.2 MONITOREO DE ADICION DE POLIELECTROLITO

Después de recibir el agua del segundo lavado en la fosa de floculación, esta se homogeniza mediante la puesta en marcha de dos agitadores que se encuentran en dicha fosa y que ya existían como parte de la planta de tratamiento anterior; se toma una muestra de 500 ml de la parte media de la fosa y se le hace una prueba a nivel laboratorio aplicándole una cantidad determinada de floculante previamente diluido al 20% que varía de acuerdo a las condiciones del agua.

Se procede a medir el nivel de la fosa de floculación " h_1 ", para así calcular el volumen de agua que se tiene en la fosa con la siguiente expresión :

$$V_1 = 25.13 * h_1$$

Ya conocida la cantidad de floculante que se requiere para 500 ml, se evalúa que cantidad de floculante va a ser necesario de acuerdo al volumen de agua que se va a tratar. Se prepara el floculante y es aplicado a la fosa, se le agita por 4 minutos aproximadamente para que forme los flóculos y se deja sedimentar por lo menos 20 horas para que los sólidos sedimentables así como los disueltos precipiten .

Debido a la altura a la que se encuentran los agitadores de la Fosa de Floculación, cuando el nivel de la fosa no es considerable, no se logra una buena agitación, por lo que para las pruebas fue necesario esperar la salida de dos segundos lavados para poder agitar bien.

Concluido el proceso de floculación, mediante una bomba de doble diafragma se trasiega el agua de la Fosa de floculación, hacia la fosa de Agua clarificada F2, el cual se puede calcular con la siguiente expresión :

$$V_2 = 22.75 * h_2$$

El agua trasugada a la Fosa F2 estará preparada para formar parte del agua con la que se alimenta la Olla de Destilación D-402 para el próximo primer lavado.

Los lodos sedimentados no son bombeados después de cada proceso de floculación, estos se dejan en la fosa y se continúan recibiendo los segundos lavados, ya que estos ayudan a que se requiera menor cantidad de floculante para clarificar el agua, ya que los sólidos sedimentados de una floculación anterior tienen aún activo el floculante contenido en ellos.

Como el agua recibida en la fosa de floculación llega a una temperatura aproximada de 52°C, se hicieron algunas pruebas para observar que tan importante es esperar a que la temperatura descienda para que el floculante actúe .

TABLA 16.

ADICION DE FLOCULANTE-TEMPERATURA			
ml	temp.	polielec.(1/10)	Color
500	25	1 ml	Amarillo Claro
500	42	1.5 ml	Amarillo obsc.
500	39	1 ml.	Amarillo obsc.

Entre algunas pruebas realizadas, se tienen las siguientes :

TABLA 17.

PRUEBA 2o TRATAMIENTO 1	
Nivel Fosa F_1 (m)	1.0
Volumen de Agua (m^3)	25.13
ml flocul./500 ml muestra	1.5
Floculante requerido (lt)	4.67
h fosa F_2 (m)	0.88
% agua recuperada	80
Volumen agua recuperada (m^3)	20.104

TABLA 18.

PRUEBA 2o TRATAMIENTO 2	
Nivel Fosa F ₁ (m)	1.03
Volumen de Agua (m ³)	25.88
ml flocul./500 ml muestra	0.9
Floculante requerido (lt)	4.65
h fosa F ₂ (m)	0.967
% agua recuperada	85
Volumen agua recuperada (m ³)	21.998

TABLA 19.

PRUEBA 2o TRATAMIENTO 3	
Nivel Fosa F ₁ (m)	1.44
Volumen de Agua (m ³)	36.19
ml flocul./500 ml muestra	0.2
Floculante requerido (lt)	14.47
h fosa F ₂ (m)	1.30
% agua recuperada	82
Volumen agua recuperada (m ³)	29.67

5.3 MEDIDAS CORRECTIVAS

Entre algunas de las situaciones en las se requieren algunas especificaciones ó modificaciones se tienen las siguientes :

* Se requirio la colocación de una media caña que conduzca vapor por la parte inferior del tanque evaporador de tal forma que las breas que se concentran se mantengan a altas temperaturas y no se solidifiquen; de esta manera el drenado de las breas concentradas a la fosa es posible y no hay problemas de taponamiento.

* En caso en que ocurra algún taponamiento en el dren de descarga del evaporador, se procede a cargar normalmente el tanque con la bomba a la vez de que se comienza a calentar nuevamente en la parte baja de este al suministrar el vapor de 25 Kg a las medias cañas y al serpentín, mientras que se mantiene abierta la válvula de drenado del evaporador.

En el momento en que comience a fluir en el dren las breas y se destape completamente este, se cierra la válvula, y a partir de este momento se comienza a tomar la diferencia de nivel de la fosa para conocer la cantidad de agua cargada al evaporador.

*Para evitar que la succión de la bomba G-911 quede llena de breas cuando es cargado el evaporador , se le hace succionar al final agua caliente para que la manguera, la bomba y la tubería que conduce las breas quede limpia y no existan breas en esas partes que se enlrien y tapen la succión.

* Suministrar el polielectrolito a la fosa de tal forma que sea posible una distribución lo más uniforme posible ya que en las partes extremas de la fosa se tiene una agitación deficiente.

* La manguera que succiona el agua de la fosa de floculación a la de agua clarificada debe colocarse en la parte más superficial posible al agua, para evitar remoción de los sólidos sedimentados.

5.4 PRUEBAS DE LA PLANTA

Las figuras 9 y 10 muestran el procedimiento que siguen las aguas tratadas en un tratamiento completo.

Este se inicia con la alimentación de 18 m^3 a agua a la olla de destilación D-402 de la cual son drenados a la fosa de agua ácida 13 m^3 y son recuperador en un decantador F-401 que esta en la parte alta de la columna de destilación 6 m^3 de esta agua que son enviados al tanque de almacenamiento de agua de proceso F-900.

De los 13 m^3 , uno de ellos es aproximadamente de breas arrastra- das de la olla y la columna de destilación que contienen ácido maléico y fumárico. De este drenado que se encuentra en la fosa de agua acida es evaporado aproximadamente el 80% del agua que contiene que son 10.4 m^3 , y los demás 2.6 m^3 son regresados a la fosa de agua ácida donde se pasan a la parte norte de la fosa para que terminen de cristalizar.

El peso aproximado de las breas ya almacenado en sacos es de 4 toneladas por cada 2 batch; estas se enviarán al incinerador donde deacuerdo a las condiciones de este, se convertirán en agua y Dióxido de carbono.

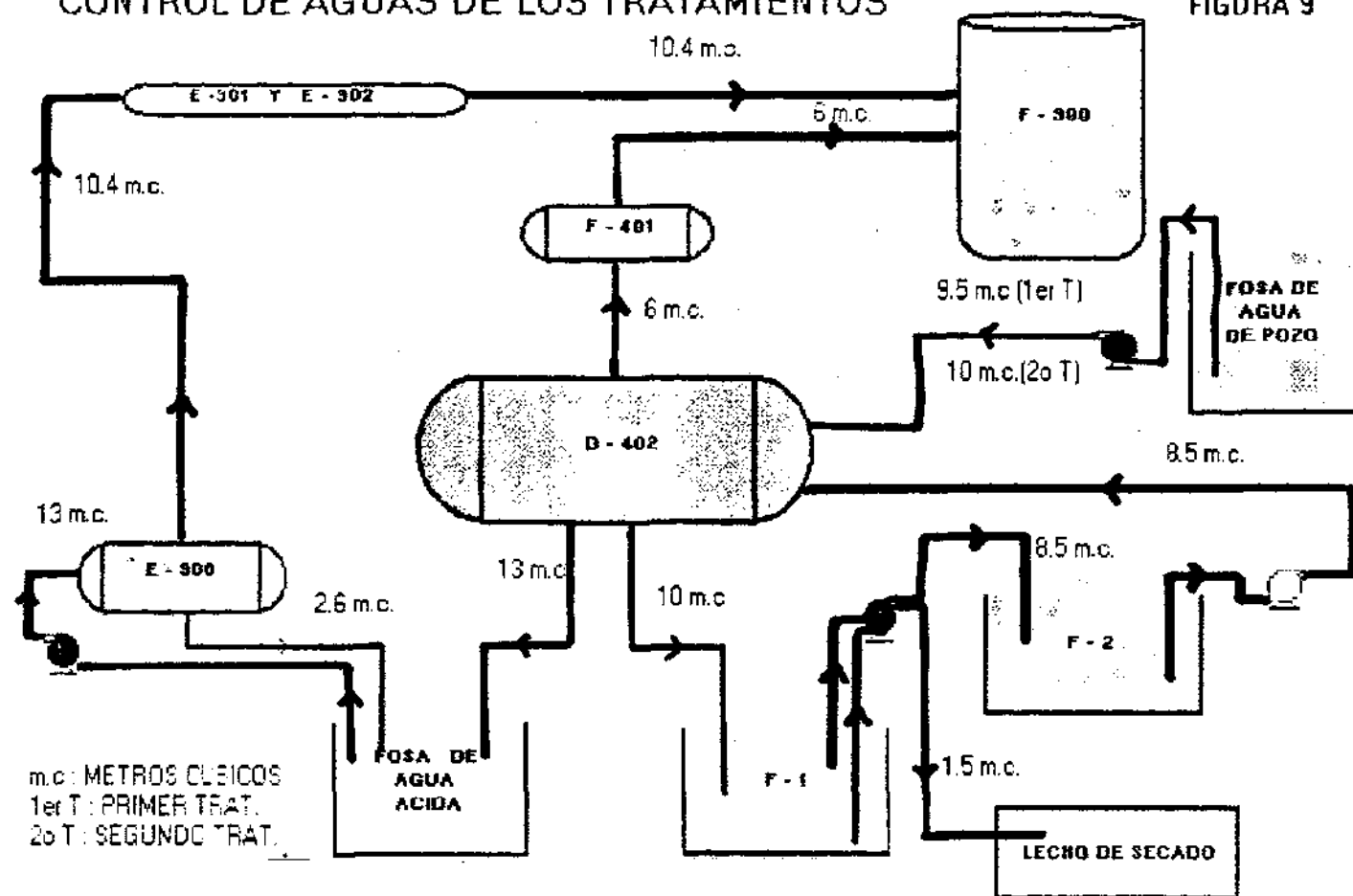
Los 10.3 m^3 de vapor, serán condensados en el E-901 y E-902 para enviarse también al tanque de agua de proceso F-900.

Para realizar el segundo lavado se cargan 10 m^3 a la olla de destilación, se someten a rellujo y son drenados totalmente para dirigirse a la fosa de floculación F1 donde después del proceso de floculación se recuperará aproximadamente el 85% del agua clarificada que son 8.5 m^3 y quedando sólo 1.5 m^3 de sólidos sedimentados que se terminarán de secar en el lecho de secado donde se logrará reducir a menos de un m^3 para después enviarse también a incinerar.

Los 8.5 m^3 de agua clarificada serán completados con agua de pozo para poder cargar 18 m^3 a la olla de destilación para el próximo primer lavado.

CONTROL DE AGUAS DE LOS TRATAMIENTOS

FIGURA 9



LINEAS DE AGUA

-  AGUA DE POZO
-  AGUA RECUPERADA PARA PROCESO
-  AGUA PROCEDENTE DEL PRIMER LAVADO
-  AGUA PROCEDENTE DEL SEGUNDO LAVADO
-  AGUA RECUPERADA PARA EL PRIMER LAVADO
-  BREAS SEMIDESHIDRATADAS DEL PRIMER LAVADO
-  BREAS SEMIDESHIDRATADAS DEL SEGUNDO LAVADO

FIGURA 10

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES

* De los 18 metros cúbicos que se emplean en el primer lavado, 8.5 de ellos son agua clarificada obtenida del proceso de floculación.

* De los 18 metros cúbicos sólo se pierden aproximadamente 1.6 , los cuales no pueden recuperarse por formar parte de la humedad que no se logra eliminar de las breas que se someten a evaporación y del agua que forma parte de la reacción en la que se forma el ácido maléico y fumarico.

* De los 18 metros cúbicos empleados, 10.4 de ellos pasan a formar parte del agua de proceso , por lo que se soluciona un problema y se satisfacen necesidades de agua de proceso.

* De los 10 metros cúbicos de agua empleados para el segundo lavado que son tomados de la fosa de almacenamiento de agua de pozo se logran clarificar y recuperar 8.5 metros cúbicos los cuales serán reutilizados en el próximo primer lavado a realizar.

* El tiempo necesario para este tratamiento está condicionado a al buen proceso de evaporación que se haga y este puede variar entre un día y medio y dos días y medio, y como los lavados se hacen aproximadamente cada 4 días se tienen el tiempo suficiente para realizar los tratamientos.

* La reutilización de equipo recuperado de otras áreas de este grupo industrial, así como la adaptación de partes existentes en la planta de tratamiento anterior ha permitido plantear y llevar a cabo un nuevo procedimiento para el tratamiento de las aguas residuales de esta planta.

* La reducción y reutilización de la cantidad de agua que se maneja en esta planta busca la optimización del proceso en conjunto y de su mayor productividad.

6.2 RECOMENDACIONES

Es recomendable mantener informado al personal del área de producción del volumen de agua con el que se cuenta para realizar los procesos de limpieza y mantenimiento de la planta, para que los tiempos de tratamiento sean suficientes a la cantidad de agua que se drene.

En la parte sur de la fosa de floculación existe un depósito que anteriormente se utilizaba para la preparación de la lechada de cal que se empleaba para neutralizar los lavados, este depósito cuenta con su agitador propio y además con una descarga hacia la fosa de floculación por lo que posteriormente es posible que en este depósito se haga la dilución del floculante para después adicionarlo a la fosa de floculación F1 ya que su mezclado manual presenta cierta dificultad.

BIBLIOGRAFIA

MANUAL DEL AGUA

Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones

NALCO . CHEMICAL COMPANY

FRANK N. KEMMER

JOHN McCALLION

TOMO I, II, III

McGRAW HILL

QUIMICA ANALITICA

MARGARITA WATTY B

Editorial Alhambra Universidad

México D.F. 1982

BOMBAS

MANUEL VIEJO ZUBICARAY

Editorial Limusa

México d.f. 1989

VALVULAS

Selección, uso y mantenimiento

RICHARD W. GREENE

Editorial McGraw Hill

México D.F. Octubre 1993

33 CONVENCION NAL IMIQ-93

Capítulo I - Memorias IMIQ

Villahermosa Tabasco. Noviembre 1993

DREW PRINCIPLES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT

Drew Chemical Corporation

New Jersey. May 1977

OPERACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES
Manual SARH

MANUAL OF INSTRUCTION FOR WATER TREATMENT OPERATORS
NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH
Editorial Limusa Wiley S.A.
N.Y. Estados Unidos 1969

OPERATION AND CONTROL OF WATER TREATMENT PROCESSES
CHARLES R. COX.
World Health Organization
Geneva, 1969

PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS
FOUST WENZEL CLUMP
Editorial CECSA

PROCESOS DE INGENIERIA QUIMICA
G.D. ULRICH
Editorial Interamericana

CHEMICAL ENGINEERING
PROCESS TECHNOLOGY
Mayo 1980