



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

16304-5

UTILIZACION DE LA CAPACIDAD INDUSTRIAL -
ACONDICIONAMIENTO DE LA FABRICA DE ACIDO SULFURICO
DE COSSMIL EN EUCALIPTUS

SI/BOL/85/803/11-53

BOLIVIA

Informe técnico: Manual de operación de la fábrica
de ácido sulfúrico de Eucaliptus, Bolivia*

Preparado para el Gobierno de Bolivia por la Organización de las
Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, organismo de
ejecución del Programa de las Naciones Unidas
para el Desarrollo

Basado en el trabajo del Sr. Lasse Jutila, consultor
en tecnología del diseño y funcionamiento de la
fábrica de ácido sulfúrico

Oficial de apoyo directo: J.A. Kopytowski,
Subdivisión de Industrias Químicas

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
Viena

* El presente documento es la traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

Lista de anexos

<u>Anexo</u>		<u>Página</u>
I	- Lista de las personas con las que se entrevistó la misión	8
II	- Calendario de las actividades de la misión	9
III	- Memorando sobre las visitas a Cochabamba	10
IV	- Producción de ácido sulfúrico; organización según el modelo de una fábrica finlandesa	13
V	- Carta del Sr. Alfaro Cortez, Director General de COSSMIL, al Sr. Jutila	14
VI	- Precios estimados de algunas unidades	15
VII	- Estimación de los costos de sustitución y adición	16

INFORME FINAL DE LA MISION A BOLIVIA

(Puesto SJ/BOL/803/11-53/32.1.F)

En el anexo I figura una lista de las personas con las que me entrevisté; entre ellas, el Sr. Ruiz, el Sr. Velasco y el Sr. Reck formaron un equipo conmigo que celebró sesiones técnicas casi todos los días. En dichas sesiones también participó muy a menudo el Sr. Landivar. Examinamos asuntos referentes no solamente a la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus, sino también referentes a la producción y fabricación del ácido sulfúrico en general, ya que las personas mencionadas estaban muy interesadas en ello.

Elegí como lugar de trabajo la sede de COSSMIL en La Paz, por encontrarse allí toda la documentación necesaria. La fábrica de Eucaliptus la visité únicamente cuando se trataba de problemas especiales que no podían resolverse en La Paz.

Procedí en primer lugar a familiarizarme con la planta y el proceso químico seguido en ella. Al igual que la misión de la ONUDI de 1985, pude comprobar que la planta se encuentra bien conservada y puede renovarse perfectamente.

Funcionamiento a baja capacidad

Depende del sistema de suministro-consumo de la planta. Como dicho sistema se diseñó con demasiada rigidez, la misión de la ONUDI de 1985 sugirió dos soluciones para que el sistema fuera más elástico: a) una alternativa eléctrica y b) una alternativa interna.

Como ambas alternativas se describen en detalle en los informes respectivos, únicamente me referiré a ellas sumariamente.

Dado que la solución elegida es fundamental para el funcionamiento de la planta, ambas alternativas se analizaron y examinaron a fondo. Tras dicho examen y análisis, COSSMIL se decidió por la alternativa eléctrica por los siguientes motivos: un costo de producción más bajo y una mayor elasticidad de funcionamiento (véase el anexo V del Informe final). De esta manera la producción de la planta puede regularse mediante el compresor de aire y la alimentación de azufre. Además, la temperatura del gas a la entrada del convertidor puede comprobarse mediante la derivación que viene directamente del horno.

Intercambio térmico en la caldera 1

Es importante debido a la temperatura del gas a la entrada del convertidor y debido también a la producción de vapor. En el anexo III del Manual de operación se indica el cálculo correspondiente.

Intercambio térmico en la caldera 2

Es también importante debido a la producción de vapor y a la temperatura del gas del convertidor en el segundo lecho del catalizador. Estos cálculos se reproducen también en el mencionado anexo III.

Por dichos cálculos se deduce que no es preciso realizar ninguna modificación en la construcción de las calderas. Al disminuir la producción de SO_4H_2 disminuye también el coeficiente de intercambio térmico y aumenta la zona para dicho intercambio. Pero la zona actual es todavía mayor.

Al tomarse la decisión a favor de la alternativa eléctrica se redactó un nuevo gráfico de proceso y se calculó un nuevo intercambio térmico (véase el anexo VIII del Manual de operación).

A este respecto observé que la empresa mexicana había calculado la cantidad de vapor en un 10% menos. El consumo de azufre por kg de ácido sulfúrico ha sido de 0,37 kg (rendimiento del 89%). La empresa mexicana había calculado a razón de 0,336 kg de azufre por kg de ácido sulfúrico (rendimiento del 97%).

Equilibrio térmico

Se muestra en el anexo VIII del Manual de operación e indica que existe en la actualidad suficiente cantidad de vapor para todos los fines de la planta. El estrangulamiento se produce ahora en el turbogenerador.

El turbogenerador consume vapor a razón de 2.119 kg/h y tiene una potencia de 110 kW. Esta cantidad de vapor corresponde a una producción de ácido sulfúrico de 42 t/d. Cuando la producción de ácido es mayor el exceso de vapor no puede tratarse.

Por ello, se necesita otro turbogenerador. De todas formas, no es preciso adquirirlo ahora. La demanda de ácido sulfúrico es tan sólo de 4.000 toneladas anuales. La producción de 42 t/d corresponde a una demanda anual de 14.000 toneladas. Pasarán seguramente muchos años hasta que la demanda de SO_4H_2 en Bolivia alcance las 14.000 toneladas.

Una alternativa a la instalación de un nuevo turbogenerador sería utilizar el antiguo compresor de aire. Ello sería posible si la demanda aumentara bruscamente a 30.000-35.000 t/a de SO_4H_2 como, por ejemplo, si se construyera una fábrica de superfosfatos. En todo caso, lo aconsejable es almacenar cuidadosamente el compresor de aire.

Debe observarse que cuando la planta funcionaba con la soplante accionada por vapor, la energía eléctrica necesaria era de 130 kW. Esta misma cantidad sigue siendo necesaria aun cuando la soplante esté accionada eléctricamente. La cantidad de vapor liberada no puede convertirse en electricidad debido a la limitada capacidad del turbogenerador.

La energía eléctrica para la soplante debe tomarse de la red general incluso cuando se trate de pequeñas cantidades de ácido sulfúrico. La capacidad de la soplante puede controlarse cambiando la rotación del motor eléctrico, lo que supone también un ahorro de energía.

El consumo de energía para los demás motores y bombas sigue siendo casi constante ya que el flujo de ácido y azufre fundido se regula estrangulando la corriente. El resto de la energía eléctrica también puede conseguirse con el generador de gasóleo, pero su capacidad está limitada a 110 kW. El precio de la electricidad producida por el generador de gasóleo es de 0,063 \$EE.UU./kWh y el de la electricidad de la red general de distribución de 0,060 \$EE.UU./kWh.

También debe tenerse en cuenta que si la planta de ácido sulfúrico volviera a funcionar de nuevo, se suscribiría un contrato con la compañía de electricidad con el que podría obtenerse un precio generalmente más bajo. Por ello, sería más ventajoso utilizar la electricidad de la red general.

Funcionamiento general de la planta

La producción se basa en el sistema típico de contacto simple/absorción simple (SC/SA). El catalizador es marca Staffer y el grupo de contacto funciona por el método de dicha casa. Las torres tienen un sistema de un ácido único, es decir, tanto para el secado como para la absorción se utiliza la misma concentración de ácido (SO_4H_2 al 98%), según la técnica de la sociedad "Titlestad".

La tecnología de la planta está ya un poco anticuada, especialmente en cuanto a la fundición del azufre y la sección de tratamiento. Pero a pesar de ello la planta puede funcionar perfectamente.

El fabricante ha prometido que el convertidor puede alcanzar un rendimiento del 97%. En una fábrica moderna, la conversión es del 98-98,4%. Igualmente, el rendimiento total de la planta es demasiado bajo ya que alcanza tan sólo el 89%. Debería ser mucho más alta, alrededor del 90%, que es una cantidad próxima a la relación del convertidor. Tal vez se deba a la edad del catalizador, que tiene más de 20 años. Además, dicho catalizador presenta algunos desperfectos.

El catalizador

Según el informe de la misión de la ONUDI en 1985 el catalizador se encontraba en buen estado. Pero según me dijeron en COSSMIL la muestra tomada no era representativa porque procedía únicamente del cuarto lecho. En el diario de la sala de control de la planta se indica que durante una semana todos los gases de combustión del gasóleo en el horno de azufre fueron dirigidos al convertidor.

Tras este incidente, la conversión disminuyó cerca del 10% y hubo que aumentar las temperaturas de entrada de los lechos del catalizador para poder iniciar la reacción. También disminuyó la diferencia de temperatura en el primer lecho. Ello indica que el catalizador se encuentra parcialmente dañado.

Los gases de combustión contienen siempre una cantidad mayor o menor de CO que resulta venenosa para el catalizador. En este caso había habido demasiado poco oxígeno en la combustión porque, según el representante de COSSMIL, se había condensado cierta cantidad de gasóleo en el primer lecho. Este incidente se describe en el anexo IV.

Hemos tomado ahora nuevas muestras de los lechos primero, segundo y tercero. Todavía no se ha decidido el lugar en que se analizarán.

Sugerencias

Para mejorar el funcionamiento de la planta:

- La temperatura del ácido producido en el tanque de almacenamiento es demasiado elevada ya que asciende a 60°C . Para evitar la corrosión, debería ser por lo menos de 40°C y a ser posible de 35°C . Debería instalarse un refrigerador del ácido antes del tanque de almacenamiento.
- No es necesario construir un foso de sedimentación. El azufre fundido puede dirigirse directamente al filtrado. Así pueden realizarse economías en el gasto de vapor y de acondicionamiento.
- Debe construirse una derivación para el filtro. Durante la producción de pequeñas cantidades de SO_4H_2 , como por ejemplo 20 t/d, puede evitarse el filtro, como por ejemplo durante una reparación.
- El límite mínimo de la producción de SO_4H_2 es de 20 t/d. Si es posible una producción de ácido todavía menor es algo que deberá verse en la práctica. Condición previa para ello es que la temperatura del gas alcance los 440°C antes de llegar al convertidor.
- Por motivos de seguridad deberán instalarse en la planta duchas y surtidores para lavarse los ojos en los lugares en que exista el riesgo de rociados de ácido sulfúrico.

El 3 de septiembre se celebró una reunión con la dirección de COSSMIL a la que asistieron los tres expertos. Presenté mis conclusiones y sugerencias, como por ejemplo la construcción de una planta de superfosfatos. Insistí en la sugerencia porque es una garantía razonable del consumo continuo de ácido sulfúrico.

Visita a Cochabamba

Por iniciativa del Sr. Peñaherrera hice una visita a Cochabamba con el Sr. A. Landvar. El objeto de la visita era determinar si la fábrica de amianto podía utilizarse para la producción de superfosfatos. La respuesta es negativa y se explica en el anexo III del Informe final.

Organización de la planta de ácido sulfúrico

A petición, tracé un plan para la organización de la fábrica basándome en una planta finlandesa.

Jefe de día = técnico que trabaja solamente de día y tiene a sus órdenes a todos los operarios y a dos trabajadores diurnos.

Trabajador diurno = trabajador que realiza varias tareas que no forman parte del proceso de producción, es decir, carga, descarga del azufre, etc.

Costo estimado de las sustituciones y adiciones necesarias

A petición del Sr. Bellver realicé la estimación indicada y llegué a la cifra de \$EE.UU. 2 millones. En el anexo VII del Informe final se da una estimación detallada de dicha cifra. También calculé que el valor de los aparatos y equipo actuales de la planta es de \$EE.UU. 5 millones. Le indiqué al Sr. Bellver que el costo de mantenimiento de una planta de ácido sulfúrico finlandesa suele ser del 1% de la inversión.

Manual de operacion

La mayor parte de mi trabajo correspondió a la redacción del Manual de operación que consta de 10 capítulos. En la introducción de dicho Manual se indica la bibliografía consultada. El Manual contiene varios anexos.

Evaluación de las licitaciones para las sustituciones y adiciones

No se han obtenido licitaciones todavía. Mantuve una conversación acerca de las condiciones que deben reunir las sustituciones y adiciones. COSSMIL dispone ya de una lista detallada del equipo y materiales necesarios para el acondicionamiento. Los materiales son del tipo que puede obtenerse en Bolivia. Hemos convenido en que las averiguaciones al respecto puede hacerlas COSSMIL. Por mi parte realizaré las indagaciones referentes a:

- El motor eléctrico del soplador con el correspondiente manguito
- Transformador
- El dispositivo de enclavamiento para impedir que el azufre vuelva al horno en el caso de que el aire necesario para la combustión no llegue al mismo
- El dispositivo para medir el caudal del ácido en las torres de secado y de ansorción
- El transformador de calor para refrigerar el ácido antes de su almacenamiento.

En el anexo VI del Informe final se dan los precios estimados.

Reconocimiento

Quiero expresar mi reconocimiento a COSSMIL por la colaboración y hospitalidad que se me brindó durante mi trabajo. El Sr. Velasco, el Sr. Ruiz y el Sr. Reck me prestaron su plena colaboración y toda la información necesaria, lo que me permitió realizar mi tarea en el más breve tiempo posible. También debo dar las gracias especialmente al Director Landivar, cuya participación directa contribuyó a la feliz resolución de los problemas técnicos. Igualmente quiero agradecer la amistad y hospitalidad que me brindó el Director General de COSSMIL, General Alfaro.

Vayan igualmente mis gracias al Sr. Kopytowski de la sede de la ONUDI por las detalladas instrucciones sobre el trabajo.

La Paz, 2 de octubre de 1986

(Firmado): Lasse Jutila

ANEXO I

Lista de las personas con las que se entrevistó la misión

COSSMIL

Sr. Hernán Alfaro Cortéz	Presidente y Director General
Sr. Alberto Landivar Sánchez	Director
Sr. Edgar Mallo Burela	Jefe del Departamento de Explotación de Minas
Sr. Abraham Velasco Flores	Jefe de la fábrica de ácido sulfúrico
Sr. César Ruiz Ortiz	Jefe de la fábrica de Guimine
Sr. Wolfgang Reck	Asesor en matemáticas
Sr. Gastón Zapata	Consultor privado de COSSMIL

Faboce - Cordeo (Cochabamba)

Sr. Luis Uzin	Gerente
---------------	---------

Oficina del PNUD

Sr. Raúl Peñaherrera	ASEDI, ONUDI
----------------------	--------------

ANEXO II

Calendario de las actividades de la misión

9.7.86	Llegada a La Paz	
10.7	Reunión en COSSMIL	
11.7	Visita a Eucaliptus	
12.7-16.7	Adaptación	
A partir del 16.7 (57 días a disposición)		
-	Estudio del actual gráfico y sistema del proceso	3 días
-	Análisis de las alternativas "eléctrica" e "interna" y decisión correspondiente	3 días
-	Nuevo gráfico del proceso, equilibrio de energía y otros cálculos	10 días
-	Manual de operación	30 días
-	Visitas a Eucaliptus	3 días
-	Visita a Cochabamba	2 días
-	Conversaciones sobre la visita a Cochabamba	1 día
-	Preparación de informes y sugerencias	<u>5 días</u>
		57 días

La visita a Cochabamba no formaba parte del programa original pero se incluyó a iniciativa del Sr. Raúl Peñaherrera. Se trataba de estudiar si los aparatos de la fábrica de amianto eran apropiados para la fabricación de superfosfatos (véase el anexo III).

ANEXO III

Memorando del 29.8.1986

Visita a Cochabamba del 25-26.8.1986

por el Coronel Alberto Landivar, COSSMIL y el Sr. Lasse Jutila, ONUDI

El objetivo de la visita era estudiar la posibilidad de utilizar la maquinaria de la fábrica de amianto propiedad de la ONUDI para producir superfosfatos. La fábrica de amianto está situada en Cochabamba, a unos 7 km de la ciudad y se encuentra en la misma región que la fábrica de cerámica, cuyo director es el Sr. Luis Uzin.

El Sr. Uzin nos recibió muy amablemente y puso a nuestra disposición un ingeniero para que inspeccionáramos la planta.

La fábrica de amianto comprende:

- Un edificio de dos pisos, con una altura hasta el tejado de 11 m y una superficie de la planta baja de 8,5 x 40 m más una zona de almacenamiento de 6,0 x 40 m, ambas de una altura de 4 m. La superficie del primer piso es de 8,5 x 40 m.
- Un laboratorio de 20 x 7 m y una altura hasta el tejado de 3,5 m.
- Un edificio de oficinas, de tamaño algo superior al laboratorio.

Se adjunta también a la presente una fotografía tomada durante la construcción de la planta en la que pueden advertirse sus principales características.

He aquí una relación de los aparatos y equipo:

Planta baja

- Una banda transportadora que atraviesa todo el edificio
- Un lugar para pesar
- Las tuberías para el aire comprimido están entre la planta baja y el primer piso.

En el primer piso

- Un tambor para secar o tratar el carbonato de sodio
- Una banda que desde el exterior de la planta llega al tambor
- Cuatro cubas de cemento con una tolva cuadrangular dirigida a un extremo de la planta baja

- Un depósito de cemento
- Un triturador, marca Make Mouline Hartzerkleinerungsmaschine Muenster Werke
- Un tamiz con balanza
- Un clasificador, un tambor y un embudo
- Un tamiz de tambor y un elevador
- Cinco ascensores que empiezan en la cinta de la planta baja y llegan a una altura de 8-9 m

Exterior del edificio:

- Una soplante de los gases de combustión con la tubería correspondiente.

En el almacén, una estación transformadora.

Los aparatos y equipos se encontraban en buenas condiciones sin presentar señales de oxidamiento. El equipo de laboratorio se encontraba también en buen estado.

Manera de utilizar el equipo de la fábrica de amianto

- Puede utilizarse un triturador parecido al Marke Mouline Hartzerkleinerungsmaschine.
- Las construcciones de cemento como cubas y depósitos únicamente pueden utilizarse en la planta.
- Las cintas transportadoras, cribas, clasificadores, balanzas y elevadores, únicamente pueden utilizarse en la industria de fertilizantes si sus dimensiones son adecuadas a la producción prevista.
- Lamentablemente, la combinación del equipo no es apropiada para la producción del superfosfato simple por lo que su producción es imposible. Además, falta también la parte correspondiente al ácido sulfúrico.
- El edificio sería adecuado únicamente para la producción de superfosfatos. En este caso, sin embargo, todas las construcciones de cemento del edificio deben derribarse.

Posibilidades de producir fertilizantes

Según el estudio realizado en 1976 por "Industrial Consultants de México S.A.", las necesidades en materia de fosfato en 1973 eran de 79.000 Tm, lo que corresponde a unas 33.000 Tm de ácido sulfúrico. Si esta información de los superfosfatos que necesita Bolivia es correcta, no habría dificultades en que la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus funcionara a plena capacidad.

Emplazamiento de la planta de fertilizantes

Las materias primas utilizadas para la fabricación del superfosfato simple son:

- Acido sulfúrico
- Un fosfato de origen mineral como un concentrado de apatita o bien de origen orgánico como los fosfatos procedentes, por ejemplo, de Marruecos.

En cuanto al transporte de las materias primas hay que decir lo siguiente. El transporte del ácido sulfúrico resulta caro y al mismo tiempo peligroso debido a su carácter corrosivo y venenoso. El transporte de los fosfatos es fácil y sin peligro. Puede compararse con el transporte de arena, por ejemplo. La tendencia mundial estriba en construir la fábrica de superfosfatos de forma que no sea necesario transportar el ácido sulfúrico, es decir, ubicar la planta junto a la de ácido sulfúrico, en nuestro caso la de Eucaliptus. Además, en esta última localidad hay ferrocarril, lo que es importante para la entrega del fertilizante.

Resumen

Los aparatos y equipo de la fábrica de amianto de Cochabamba no pueden utilizarse para la producción de superfosfato simple. Una producción anual de 79.000 t/a de superfosfato absorbería la capacidad nominal de 33.000 t/a de ácido sulfúrico de la planta de Eucaliptus. La producción de superfosfatos sería suficiente para atender a las importaciones actuales. La planta de superfosfatos debiera construirse en Eucaliptus.

Se propone un estudio más a fondo para:

- Comprobar las necesidades de superfosfatos
- Aclarar la calidad de los fertilizantes necesarios en Bolivia
- Aclarar el régimen económico de la planta futura
- Estimar el precio del fertilizante
- Aclarar si el precio sería soportable para los usuarios.

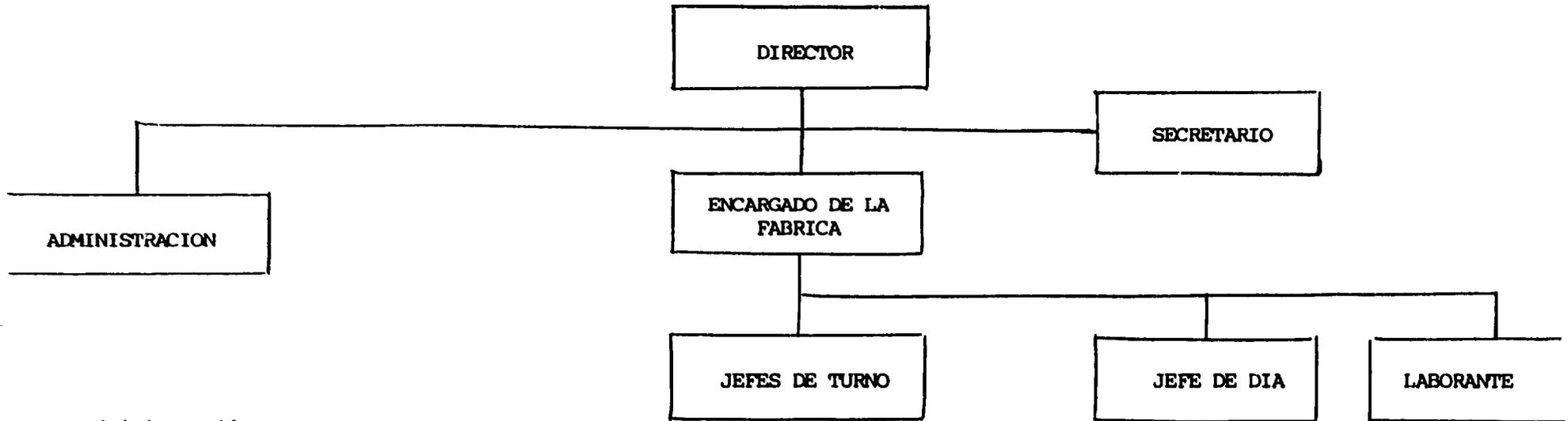
La Paz, 29 de agosto de 1986

Alberto Landivar

Lasse Jutila

ANEXO IV

ORGANIZACION DE UNA PLANTA DE ACIDO SULFURICO EN FINLANDIA



Administración

	Por día	Por turno	Total
- Director	1	-	1
- Secretario	1	-	1
- Auxiliares	3	-	3
Total parcial			5

Producción

- Ingeniero	1	-	1
- Jefes de turno	1	4	4
- Operadores	3	12	12
- Trabajadores de día	2	-	2
- Laborante	1	-	1
Total parcial			20

Mantenimiento

- Jefe de día	1	-	1
- Operarios	4	-	4
Total parcial			5

Calderas 1
Sala de control 1
Otras tareas 1

Instrumentos 1
Electricistas 1
Mecánicos 1
Soldadores 1
Almacenamiento, carga, descarga, etc. 2

Total 30

ANEXO V

Corporación de Seguridad Social Militar

La Paz - Bolivia

Fecha: La Paz, 4 de agosto de 1986
Del: General de Brigada Hernán Alfaro Cortez
Director General de COSSMIL
Al: Sr. Lasse Jutila
Ingeniero consultor
Asunto: Alternativa eléctrica para la fábrica de ácido sulfúrico
de Eucaliptus

Sr. Jutila:

Para que la producción de ácido sulfúrico a baja capacidad sea posible hay dos posibilidades:

- a) Alternativa eléctrica
- b) Alternativa interna

que se exponen con detalle en el informe de la misión asesora por el Sr. Jerzy A. Kopytowski, mayo de 1985.

De estas dos alternativas, COSSMIL ha elegido la primera.

- a) La alternativa eléctrica, porque permite un costo de producción más bajo y una mayor elasticidad de funcionamiento.

Así pues, la fábrica funcionará con el compresor de aire accionado por un motor eléctrico. Además, la energía eléctrica alimentará todas las bombas y suministrará energía para el alumbrado y sistema de control.

El vapor de las calderas de recuperación térmica se utilizará para accionar las bombas de suministro de agua, la fundición, y para calentar la circulación del azufre y el resto se utilizará para producir energía eléctrica en la turbina existente, añadiéndose al consumo energético total de la planta.

Le saluda muy atentamente,

(Firmado): Gral. Brig. Hernán Alfaro Cortez
Director General de COSSMIL

ANEXO VI

Estimación del costo de determinadas unidades para 1986-87

	<u>¢EE.UU.</u>
- Motor eléctrico para accionar la soplante	20.000
- Transformador con todos los dispositivos necesarios	80.000
- Sistema de enclavamiento para impedir que el azufre vaya a parar al horno cuando no llega el aire para la combustión	5.000
- Dos rotámetros o dispositivos análogos para medir el caudal del ácido circulante	10.000
- Un intercambiador térmico para enfriar el ácido producido antes de su almacenamiento	50.000
- Un catalizador para los lechos 1-2 y 3	150.000
- Duchas y surtidores para el lavado de ojos	50.000
- Un pequeño laboratorio y taller con su equipo	<u>60.000</u>
	TOTAL
	425.000
	=====

ANEXO VII

Costo estimado de las sustituciones y adiciones

	<u>\$.U.U.</u>
Estimación de COSSMIL en 1981	300.000
Aumento 1981-1986	300.000
Suministros 1986 (anexo VI)	425.000
Reservas para mano de obra e imprevistos en la renovación de las tuberías de ácido sulfúrico, de agua y vapor, instalación de la planta y renovación del material de ferrocarril y carretera	<u>975.000</u>
TOTAL	2.000.000

MANUAL DE OPERACION

de la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus, destinado
especialmente a la producción a baja capacidad

por

Lasse A. Jutila

Consultor de la ONUDI

MANUAL DE OPERACION DE LA FABRICA DE ACIDO SULFURICO

INDICE

0. Introducción
1. Especificaciones para las materias primas, los productos intermedios y el producto final
2. Métodos analíticos para evaluar la calidad de los materiales y productos
3. Descripción del proceso tecnológico
4. Parámetros del funcionamiento de cada unidad a distinta capacidad; relación entre los parámetros
5. Control del funcionamiento de la planta
6. Arranque y paro de la instalación
7. Medios de seguridad a tener en cuenta durante el arranque, funcionamiento y paro de la planta
8. Instrucciones para los lugares de trabajo
9. Instrucciones para el jefe de turno
10. Directrices generales de mantenimiento

Introducción

El presente Manual de operación (denominado abreviadamente "el manual") se refiere al funcionamiento de la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus, y está orientado especialmente su funcionamiento a baja capacidad.

Cuando la planta funcionó entre 1975 y 1978 la capacidad límite inferior era del 75% de la capacidad nominal de 100 t/d. Ahora, cuando la soplante esté equipada con un motor eléctrico y tras otras renovaciones, la capacidad inferior será de unas 20 t/d y la capacidad general podrá variar gradualmente entre 20 y 100 t/d.

Este manual contiene varios anexos, de los que cabe mencionar en especial los anexos VI y VII, ambos escritos en español por la sociedad "Industrial Consultants de México S.A.". El anexo VI constituye una propuesta para una planta de ácido sulfúrico dirigida a COSSMIL por parte de dicha compañía y contiene la información complementaria siguiente:

Sección III Lista de equipo
Sección IV Servicios

Por ello este manual no contiene una lista de equipo. La lista de equipo reproducida se basa en la solución antigua de que la soplante esté accionada por vapor. Ahora la fuerza motriz será sustituida por la electricidad, aunque no se especifica todavía por no haberse procedido a la entrega.

Por el mismo motivo, tampoco se indica el recuperador de calor para el ácido producido.

La sección IV contiene las cifras de consumo:

1. Queroseno para

A. Caldera auxiliar	425 lbs/h
B. Motor	170

2. Agua

A. Alimentación caldera	5 GPM
B. Enfriamiento de ácido	700 "
C. Proceso	4 "
D. Uso general	10 "

El anexo VII constituye una especie de manual de operación de la sociedad Industrial Consultants. En las secciones siguientes se dan informaciones adicionales al presente manual.

Sección 8.0 Sistema de recirculación del ácido de 98%
Sección 9.0 Operación de caldera
Sección 10.0 Instrumentos
Sección 12.0 Seguridad
Sección 13.0 Procedimientos de arranque y paro
Sección 14.0 Servicios auxiliares

Obras consultadas

"Ensayos y análisis del catalizador y el azufre" por el Instituto de Química Inorgánica, Gliwice, Polonia.

ONUDI - Contrato Nº 0129, Orden 15-5-0129.

"La fabricación del ácido sulfúrico" por Werner W. Drucker y James R. West Reinhold Publishing Corporation, New York 1959, de las que se citan varios fragmentos.

Capítulo 1

Especificaciones para las materias primas, los productos intermedios y el producto final

La planta de Eucaliptus funciona según el método de contacto simple y absorción simple (CS/AS) a base de azufre elemental. Así pues, el azufre es la única materia prima utilizada. No existen productos intermedios que puedan separarse durante el proceso. El único producto final es el SO_4H_2 al 98% y para ser más precisos al 98,5%.

Sin embargo, para la realización del proceso se necesitan otros materiales:

- Cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para neutralizar el azufre fundido.
- Tierra de diatomeas para preparar la capa previa de filtrado del azufre
- Determinados productos químicos para preparar el agua que alimenta las calderas. Se trata del sulfato de aluminio, trifosfato de sodio, sulfito de sodio, carbonato de sodio e hidróxido de sodio.

Además, para transformar el SO_2 en SO_3 se utiliza V_2O_5 como catalizador. No se dispone del análisis general del catalizador, ya que suele considerarse un secreto de fabricación. De todas formas, se analizó el catalizador empleado por COSSMIL para determinar si puede utilizarse todavía.

Dicho análisis figura en el presente capítulo.

Especificaciones del azufre

Total S	99,5%
Cenizas	0,01-0,1%
Sustancias orgánicas	0,02-0,1%
H_2O	0,02-0,15%
SO_4H_2	0,01-0,03%
Se	2 ppm
Te	2 ppm
As	0,25 ppm
Cl	0,1 ppm

Normalmente el azufre tiene un color amarillo marrón, aunque a veces puede cambiar, lo cual no tiene ninguna importancia. En el caso de que las cenizas sean inferiores a 0,01% no es necesario proceder al filtrado.

Especificaciones del producto final, el ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido casi incoloro y opalescente. El producto final, ácido sulfúrico al 98%, se toma de la torre de absorción y tiene una concentración del 98,5%; las especificaciones son:

Concentración	98,5% SO_4H_2
Peso específico	1,84
SO_3 libre	ninguno
Sustancias reductoras	0,1-N KMnO_4 - solución 4,9 ml
Cenizas	0,005%
Residuos de combustión	0,005%
Pb	0,0004%
Cu	0,00004%
Zn	0,00004%
Fe	0,0065%

Análisis del V_2O_5 , catalizador de contacto utilizado por COSSMIL

V_2O_5	6,4%
K_2O	9,4%
Na_2O	0,2%
SiO_2	50,7%
SO_2	25,3%
Fe_2O_3	1,48%
Al_2O_3	2,4%
As_2O_3	0,15%
SeO_2	0,0000%
Ca O	2,4%
Mg O	0,2%
Pb O	0,005%
Cu O	0,003%
P_2O_5	1,1%

Pérdida de masa a las temperaturas siguientes:

a 100°C	1,9%
a 500°C	9,6%
a 600°C	16,0%

Los granos del catalizador tienen forma de cilindro de 6 mm de diámetro y 5-15 mm de longitud. Para que el catalizador sea eficaz, el contenido de V_2O_5 debería ser del 6 al 8%. A este respecto el contenido de V_2O_5 es suficiente.

En el informe emitido por TKP Consultants Ltd., Varsovia, Polonia, existe un examen más amplio del catalizador que no repetimos aquí.

Especificaciones de los productos químicos utilizados en la preparación del agua que alimenta las calderas y otros productos químicos

Especificaciones de la cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$

De la misma calidad que la utilizada en los trabajos de construcción.

Capítulo 2

Métodos analíticos para evaluar la calidad de los materiales y productos

2.1. Determinación del azufre y sus impurezas

La estimación de la calidad del azufre para su utilización en la producción de ácido sulfúrico comprende las siguientes determinaciones:

- La suma de las sustancias inorgánicas, es decir, las cenizas.
- Las impurezas que disminuyen la eficacia del proceso catalítico y otras operaciones.
- Las impurezas que disminuyen la calidad del ácido sulfúrico producido.

La cantidad de componente básico del mineral se determina según el contenido de azufre:

- Por encima del 95% de S, restando de 100 el contenido de impurezas.
- Por debajo del 95% de S, produciendo tiosulfato a partir del azufre, que se valora después con iodo.

Para el control del azufre, el número de determinaciones depende del proceso utilizado en la práctica para la obtención de ácido sulfúrico. Entre dichas determinaciones figura el contenido de cenizas, que resulta decisivo en el polvo formado después de quemado el azufre.

También se determina el contenido de H_2O , SO_4H_2 , As, Se, Te, C, Fe, Al, Ca y Mn, Cu y otras sustancias.

Determinación de las cenizas

Las cenizas pueden determinarse siguiendo la norma internacional ISO 3425 - Azufre de uso industrial, o bien fundiendo, quemando y calcinando la muestra a $900^{\circ}C$, y los restos que quedan tras la calcinación son el contenido de cenizas.

Determinación del contenido de ácido

Los componentes ácidos se extraen con agua destilada y se valoran con una solución de hidróxido de sodio contra fenolftaleína hasta que se obtiene un color rosa. Esta determinación se realiza de acuerdo con la norma internacional ISO-3704-Azufre de uso industrial.

Determinación de la acidez

La acidez se expresa en forma de porcentaje de ácido sulfúrico.

Determinación de las sustancias volátiles

Este método permite determinar la pérdida de la masa de la muestra durante su desecación a $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por espacio de 16 horas. El análisis se realiza de acuerdo con la norma internacional ISO-3426-Azufre de uso industrial - Determinación de la pérdida de masa a 80°C . La pérdida de la masa se expresa en porcentaje.

Determinación de las sustancias orgánicas

El método a) permite determinar la diferencia de masa de la muestra después de la combustión a 200°C y 900° , según la norma internacional ISO-3425.

Descripción del método b)

Se extrae azufre con cloroformo y se determinan los residuos después de evaporarse los solventes. Se digiere la muestra de azufre en una solución de sulfuro de sodio y, tras el filtrado y secado, se extraen los residuos con cloroformo. Se evapora el disolvente y se secan los residuos a $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante.

Determinación del arsénico

Descripción del método a)

El compuesto de arsénico se reduce a AsH_3 gaseoso con hidrógeno y se absorbe en una solución de piridina de dietilditiocarbamato de plata. La intensidad del color rojo se determina fotométricamente por comparación con soluciones de referencia de trióxido de arsénico debidamente preparadas. La determinación se hace de acuerdo con la norma internacional ISO-3705-Azufre de uso industrial - Determinación del contenido de arsénico - Método fotométrico del dietilditiocarbamato de plata.

Descripción del método b)

Los compuestos de arsénico se reducen con hidrógeno in statu nascendi a AsH_3 y se absorben en papel de filtro saturado con bromuro de arsénico hasta que se obtiene un compuesto amarillo de $\text{As/HgBr}/_3$. Se compara la intensidad del papel de filtro con una escala de colores obtenida en situaciones parecidas con un compuesto de arsénico de referencia.

Determinación del selenio

Se determina fotométricamente utilizando el color amarillo de un compuesto de selenio tetravalente con 3,3-diaminobenzidina.

Se digiere el azufre con una mezcla de bromuro y tetracloruro de carbono y después con ácido nítrico. Terminada la composición y oxidación del azufre, el bromuro y el tetracloruro excedente es expulsado hasta que se advierten vapores de SO_3 . Después de añadir cloruro de amonio y versenato de disodio se llega a un pH 2,5 con una solución de amonía. Después se agrega una solución de ácido fórmico y 3,3-hidrocloruro de diaminobenzidina.

El compuesto coloreado una vez alcanzado el pH 5-7 con una solución de amoníaco, se extrae con tolueno. La fase orgánica se somete a colorimetría y se compara con la curva analítica preparada en situaciones comparables.

La determinación se hace según las normas ST y SEW 1417-78 azufre y Pn-81/C-84084.

Determinación del telurio

Se sigue un método de determinación de extracción y fotométrico del telurio con dietilditiocarbamato.

Se digiere una muestra de azufre en hidróxido de sodio y luego se oxida con peróxido de hidrógeno, y se deja hervir hasta eliminar el exceso. La solución se neutraliza con ácido clorhídrico en presencia de fenolftaleína hasta que desaparece el color rojo. Después se agrega un exceso concreto de HCl y se reduce mediante monocloruro de hidrazina y cloruro estánnico. Los residuos de selenio y telurio se separan y se digieren en ácido sobre un papel de filtro. Después de agregar ácido tartárico se alcanza un pH 8,2-8,4, y luego se agrega dietilditiocarbamato de sodio y se realiza la extracción con tetracloruro de carbono. La fase orgánica se somete a fotometría y se compara con muestras de referencia debidamente preparadas.

Determinación del antimonio

Se aplica un método de extracción-fotométrico con violeta de metilo.

Se disuelve una muestra de azufre en ácido nítrico. El antimonio se separa con el dióxido de manganeso en un medio de ácido nítrico. Se extrae un compuesto de violeta de metilo en presencia de sulfato cérico y clorhidrato de hidroxilamina con tricloroetileno y se compara con soluciones de referencia de antimonio preparadas en condiciones parecidas. La fase orgánica se somete a fotometría.

Determinación de la sílice

Se funde y quema una muestra debidamente pesada de azufre triturado, y los residuos se digieren en ácido. El precipitado se disuelve en una solución de ácido clorhídrico y el resto se filtra y constituye la parte no disuelta. El contenido de sílice se determina en las partes no solubles del precipitado tostado por evaporación con HF en forma de SiF_4 volátil. Después los restos se convierten en sulfatos y se tuestan para formar óxidos, calculándose el contenido de SiO_2 por la pérdida de masa.

El filtrado, después de eliminar las partes no solubles y de expeler el SiF_4 sirve para la determinación del Fe, Al, Ca, Mg.

Determinación del hierro y del aluminio

El hierro se determina por el método compleximétrico, valorando con versenato de sodio contra ácido sulfosalicílico de un pH 2 hasta que desaparece el color rosa violeta.

La determinación se realiza después de quemar la muestra de azufre y de haber digerido los residuos y de llenar hasta un volumen determinado. En el caso de una determinación paralela del contenido de sílice, el hierro puede valorarse en una solución combinada obtenida después de la digestión del SiF_4 . El filtrado, después de haberse separado las partes no solubles, también es digerido.

Se saca una muestra de la solución llenada hasta un volumen definido. Después de dosar el hierro con el versenato por el método indicado, también puede determinarse el aluminio mediante un método compleximétrico contra 3,3-dimetilnaftidina. Se agrega una solución de versenato y compensador acético para obtener un compuesto de aluminio. Luego se valora con una solución de zinc contra ferricianuro y ferrocianuro de potasio y naftedina hasta que aparece un color rosado.

Determinación del calcio y del magnesio

El contenido de calcio y magnesio se determina por métodos compleximétricos en parte de la solución obtenida al determinar el contenido de sílice.

La valoración se realiza con disodioversanato en una solución compensadora de amonio contra negro criocrómico hasta que pasa del color rojo al azul. El volumen de versanato utilizado en la valoración corresponde al contenido general de calcio y magnesio.

Para determinar el contenido de calcio en una parte separada de la solución con versanato se combina con hidróxido de sodio. El volumen de versanato utilizado en la dosificación corresponde a la cantidad de calcio.

El contenido de magnesio se calcula por la diferencia entre el versanato y las cenizas de calcinación.

Determinación del manganeso

La intensidad del color marrón rojizo del compuesto de manganeso tetravalente con formaldoxina se determina por el método fotométrico comparándolo con una solución de referencia debidamente preparada.

El contenido se determina por las cenizas obtenidas después de la combustión del azufre y la descomposición con ácidos. La gama de determinación es 0,01-0,05 mg Mn.

El contenido de manganeso también puede determinarse en soluciones por un método comparativo.

Determinación del cobre

Para medir la intensidad del color marrón del compuesto de dietilditiocarbamato de cobre en cloroformo se sigue un método fotocolorimétrico.

La determinación se basa en soluciones acídicas de las cenizas obtenidas después de la combustión del azufre. La gama de determinación es de 0,001-0,02 mg Cu.

Determinación del contenido de azufre

En el azufre de más de 95% se determinan las impurezas básicas. Las cenizas, las sustancias orgánicas, los ácidos, el arsénico y el selenio se determinan restando su contenido de 100, suponiendo que corresponde al contenido de azufre.

El contenido de azufre determinado por este método es:

$$S = 100 - /cenizas/ - /sust.org./ - SO_4H_2/ - /AS_2O_3/ - SeO_2/$$
$$S = 100 - 0,129 - 0,12 - - 0,003 - 0,0019 - 0,0008 = 99,7453\%$$

El contenido de azufre se calcula restando de 100 los resultados de las determinaciones de las impurezas indicadas entre corchetes.

Independientemente de estos cálculos el contenido de azufre puede determinarse por un método iodométrico, convirtiendo el azufre en tiosulfato de sodio.

2.2. Determinación del V_2O_5

Si observamos que alguno de los lechos del catalizador del reactor de contacto no reacciona, es decir, no hay diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del gas, procede entonces tomar una muestra del catalizador y analizarla. Únicamente es necesario analizar el contenido de V_2O_5 , lo cual se hace de la forma siguiente:

Para ello se sigue un método manganométrico. El catalizador se digiere en ácido sulfúrico y la solución se utiliza para oxidar las sustancias reductoras. Luego se reducen los compuestos de vanadio mediante sulfato ferroso aniónico, cuyo exceso se oxida mediante persulfato de amonio. Los compuestos tetravalentes de vanadio se oxidan por dosificación de $KMnO_4$ en compuestos pentavalentes y entonces el contenido de vanadio se determina expresándolo en forma de V_2O_5 .

Un motivo para llevar a cabo el análisis es cuando el lecho del catalizador de contacto debe cribarse. Así ocurre cuando la resistencia del lecho es tan grande que el gas tiene dificultades en atravesarlo. En la práctica únicamente debe realizarse el análisis de V_2O_5 para el catalizador de contacto.

2.3. Otros métodos analíticos para controlar la calidad de materiales y productos

En el anexo I del capítulo 2 figura un conjunto de métodos analíticos de materiales y productos destinados a controlar la calidad. El control analítico permite dividir el contenido de

- gases y
- ácidos.

Control analítico de los gases

- cómo tomar muestras
- cómo analizar el contenido de SO_2 antes, entre y después de los lechos del catalizador
- cálculo de la conversión
- análisis del contenido de ácido en el gas final
- control y análisis del contenido total de ácido en el gas final
- control y análisis de la humedad en el gas después de la torre de secado
- control de las impurezas del gas, como As, AsH_3 y F.

De todas formas no hay F en el gas en Eucaliptus ya que el azufre no lo contiene.

Control analítico del contenido del ácido

(En Eucaliptus no se manufactura ácido sulfúrico fumante)

- análisis de la concentración por dosificación
- un método rápido para analizar la concentración del ácido de las torres de secado y de absorción
- análisis del contenido de SO_2 del ácido sulfúrico
- análisis del Fe en el ácido sulfúrico
- análisis del As en el ácido sulfúrico.

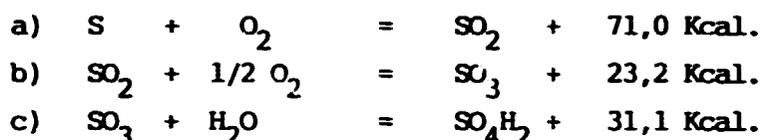
Más adelante se da un resumen del equipo y productos químicos necesarios para realizar los análisis indicados.

Los análisis y métodos descritos han sido seleccionados por su simplicidad pero son muy eficaces. Para llevarlos a cabo no se necesita un químico sino que el personal de la fábrica debería poder llevarlos a cabo tras algunas prácticas.

Capítulo 3

Descripción del proceso

La fabricación del ácido sulfúrico es un proceso exotérmico. Las principales reacciones son:



Estas reacciones se realizan en la planta de ácido sulfúrico de Eucaliptus según las etapas siguientes:

- 1) Se produce dióxido de azufre quemando el azufre elemento con aire seco (reacción a)).
- 2) El dióxido de azufre producido es enfriado hasta la temperatura de entrada del convertidor.
- 3) La oxidación catalítica del SO_2 al SO_3 tiene lugar en el convertidor (reacción b)).
- 4) Se realiza el enfriado del gas SO_3 hasta las temperaturas de absorción.
- 5) Producción de ácido sulfúrico por absorción del SO_3 en ácido sulfúrico concentrado (reacción c)).

La materia prima utilizada en Eucaliptus es el azufre elemento indicado en el capítulo 1.

Se preparó un nuevo gráfico Nº 1 del proceso de producción, que se describe a continuación.

La materia prima, el azufre, se funde y luego se filtra, y finalmente se recoge en un foso destinado al azufre puro. Dicho azufre se introduce en el horno y se quema con aire seco para dar SO_2 .

Una soplante insufla aire atmosférico en la torre de secado. El aire se seca por el ácido sulfúrico circulante. El inyector es accionado por un motor eléctrico. Después de pasar por la torre de secado, el aire es dirigido al horno y al convertidor, donde se utiliza para enfriar el gas después de atravesar los lechos segundo y tercero del catalizador. Los gases de SO_2 generados en el horno de azufre al quemar dicho mineral son demasiado calientes para seguir utilizándolos en el proceso. Por ello se enfrían antes de dejarlos entrar en el convertidor. El enfriamiento tiene lugar en la caldera Nº 1, donde se produce vapor.

El convertidor es un reactor en cuatro tiempos que consta de cuatro lechos de catalizador. La reacción c) tiene lugar en el convertidor y se forma SO_3 . Según el fabricante, la conversión de SO_2 en SO_3 alcanza el 97% y la cantidad total de catalizador es de 176 m³. Después de pasar por el primer lecho del catalizador, el gas es enfriado en la caldera Nº 2 donde se forma vapor. Los lechos segundo y tercero son enfriados mediante aire seco.

Después de pasar por el convertidor el gas se enfría en un economizador en el que se ha formado vapor.

La absorción del SI_3 y la formación del SO_4H_2 (reacción c)) tienen lugar en la torre de absorción por la que circula ácido sulfúrico fuerte. Para la absorción se utiliza ácido sulfúrico fuerte en lugar de agua, porque absorbe el SO_3 mucho mejor. Después de la torre de absorción el gas pasa a la atmósfera por una chimenea.

Las torres de secado y de absorción tienen un tanque común para la circulación del ácido. El ácido formado en la torre de secado se supone que tiene una concentración de SO_4H_2 del 96%, pasa al tanque de circulación donde se concentra nuevamente al 98,5% de SO_4H_2 y con cuya concentración se dirige tanto a la torre de secado como de absorción. En las tuberías de ácido para ambas torres hay enfriadores a fin de enfriar el ácido a temperaturas apropiadas para la absorción.

El ácido producido tiene la misma concentración que el ácido de absorción y así se forma en la torre y es transportado al almacenamiento antes de su reparto. El ácido producido se enfría también a 35° antes de pasar al tanque de almacenamiento.

El sistema de vapor de la planta consta de:

- caldera Nº 1
- caldera Nº 2
- un economizador
- una caldera auxiliar
- un colector de vapor
- un tanque para alimentar la preparación de agua.

Las calderas Nº 1 y 2 y el economizador están conectados directamente al proceso. El colector de vapor tiene por objeto recoger el vapor tanto de las calderas como del economizador. La caldera auxiliar es independiente y funciona con gasóleo.

El vapor del colector de gas y de la caldera auxiliar pueden reunirse y utilizarse para

- producir electricidad
- fundir y calentar el azufre
- alimentación de agua y de las bombas.

La caldera auxiliar puede utilizarse según las necesidades de vapor.

El vapor es normalmente de 300 psig $210^{\circ}C$. Para la fundición se reduce a 100 psig $164^{\circ}C$ y para calentar el azufre a 50 psig $135-138^{\circ}C$.

Capítulo 4

Parámetros del funcionamiento de cada unidad a distinta capacidad; relación entre los parámetros

4.1. Fusión y filtración del azufre

4.1.1. Fundición del azufre

Factores de la fusión del azufre en general

Vapores

El fuego en la caldera de fusión o la descomposición de los hidrocarburos contaminantes contenidos en el azufre fundido pueden dar lugar a emanaciones de vapores. Los hornos de fusión deben estar bien ventilados, ya que los gases emitidos pueden contener dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno. El personal que trabaja en los hornos debe disponer de máscaras de gas para un caso de urgencia. El azufre fundido cuando está limpio y seco no emana vapores en cantidades perjudiciales.

Viscosidad

El azufre líquido experimenta varios cambios de viscosidad. Una vez fundido, su viscosidad disminuye con el descenso de la temperatura hasta unos 160°C, en la que su viscosidad aumenta repentinamente hasta un valor máximo de 188°C. El aumento de la temperatura ocasiona una disminución de la viscosidad hasta un mínimo, que alcanza en el punto de ebullición. Estos cambios de viscosidad son de gran importancia para el diseño y operación del horno de fundición. La temperatura de las superficies de calentamiento debería limitarse a 149-157°C para impedir efectos de viscosidad perjudiciales. El azufre viscoso se adhiere a las superficies de calentamiento retrasando la transferencia de calor por convección y conducción. El azufre es un mal conductor del calor y la mayor parte de las transferencias se producen por convección. Conviene prever algún medio, como por ejemplo la agitación, para sacar el azufre viscoso de las superficies de calentamiento. Los factores importantes son el contacto íntimo del azufre con la superficie de calentamiento y un buen drenaje del líquido.

Humedad

El contenido de humedad del azufre cargado en la caldera de fusión está incluido en la carga de calentamiento. Con una temperatura inicial de 21°C y una temperatura final de 129°C, el azufre con un 0% de humedad exige 57,4 Btu/lb; el que tiene un 1% de humedad, 68,5 Btu/lb; y el que contiene el 5% de humedad 112,9 Btu/lb. El 1% de humedad aumenta la carga de calor el 19,3% y el 5% de humedad la aumenta en el 96,7%. La humedad ocasiona la formación de espuma y limita la capacidad de la instalación de fundición. La humedad, por supuesto, puede introducirse por la lluvia, el hielo o la nieve en el mineral a la intemperie o por absorción de aire muy húmedo. Muchas dificultades de operación pueden eliminarse disponiendo unas superficies de almacenamiento limpias y secas (Btu/lb = 0,55556 Kcal/kg).

Contaminantes ácidos

En el azufre almacenado que contiene humedad se forman ácidos sulfúrico y sulfuroso, debido a la lenta oxidación del azufre por el aire. Estos ácidos corroen y acortan la vida del equipo. Se producen en la superficie del azufre fundido y en los contaminantes sólidos que se encuentran en la escoria. Cuando el azufre no contiene ácido, pueden utilizarse tuberías de acero suave, hierro negro o hierro forjado en la construcción de la caldera horno de fusión. La corrosión del horno puede disminuirse utilizando camisas para recubrir las tuberías del vapor o bien acero inoxidable. El ácido libre en el azufre almacenado puede también neutralizarse con un agente alcalino en el caso de que no perjudique el proceso posterior.

Sólidos inorgánicos

El azufre sale de la fábrica en forma pura pero puede recoger contaminantes en tránsito o en el almacén del consumidor. Los contaminantes perjudican las operaciones de quema y fundición. Se concentran en las escorias, lo que exige el cierre periódico del horno para su eliminación. Algunos sólidos se depositan en las superficies de calentamiento y reducen la eficacia del horno.

Hidrocarburos

Los hidrocarburos contenidos en el azufre pueden encontrarse en solución o bien como compuestos complejos de carbono, hidrógeno y azufre. El material carbonoso reacciona con el azufre, y la proporción dependerá de la temperatura, el tiempo y el tipo de compuesto. Estos materiales aparecen como masas negras o marrones que flotan en la superficie del azufre fundido y pueden recubrir las superficies de calentamiento. Su contenido de azufre puede ser del 52-60%. En presencia de ácido sulfúrico pueden formarse sulfitos que pueden encenderse espontáneamente ocasionando incendios en la caldera de fusión cuando fluctúa el nivel del líquido. Los compuestos orgánicos también pueden reaccionar con el ácido sulfúrico a temperaturas entre 149 y 160°C para formar dióxido de sulfuro, dióxido de carbono y vapor de agua, con producción de espuma.

Varios

El vapor saturado se utiliza para calentar, a 75-100 psig para fundir y a 45-52 psig para calentar (= 5,2-7 atm y 3,1-3,5 atm) dando una temperatura de 153-164°C en la fundición y de 132-138°C en el calentamiento. El vapor necesario dependerá del contenido de humedad, las condiciones atmosféricas, las pérdidas de calor y otros factores de este tipo.

Incendios

Los incendios se sofocan generalmente con vapor o se extinguen con agua. La experiencia indica que las calderas de fusión funcionan normalmente sin contratiempos y exigen una atención moderada. Se contribuye al buen funcionamiento mediante una presión y temperatura constantes del vapor, un nivel del azufre líquido relativamente constante y una alimentación continua de azufre.

La fusión en Eucaliptus

El foso de fundición de la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus tiene una capacidad para 40 t de azufre. Originalmente estaba conectado con un compartimento de sedimentación con una capacidad de 285 t de azufre. Como hay un buen filtro, la decantación del azufre no es indispensable, por lo que puede prescindirse del compartimento. Este podría utilizarse en cambio con otros fines como, por ejemplo, para almacenar el azufre filtrado. Además, la eliminación del compartimento de decantación significa un ahorro de vapor.

El azufre fundido fluye desde la sección de fundición por un aliviadero hasta la sección de bombeo en la que es impulsado para su filtración.

La caldera está equipada con serpentines de calefacción espaciados a lo largo de los lados y el fondo para asegurar la necesaria distribución del calor. En la sección de fundición hay más superficie de calentamiento que en las demás porque la mayor carga de calor recae en dicha sección. Los serpentines están unidos en paralelo para conseguir una mejor distribución del calor y permitir un mantenimiento más fácil.

La caldera está recubierta con planchas de acero.

En la caldera se utiliza vapor saturado de 100 psig (= 7 atm), lo que da una temperatura de 164°C. Para otros fines de calentamiento se utiliza vapor de 50 psig (= 3,5 atm) para alcanzar una temperatura de 138°C. La presión del vapor se regula manualmente.

El foso de fusión no tiene agitadores. Así, el coeficiente de transferencia de calor oscila de 3-15 Btu/h por pie cuadrado de superficie calentadora/F^o (= 4-22 Kcal/m²C^o). El azufre, según una cantidad de 10-25 lb/h por pie cuadrado de superficie calentadora puede fundirse con la presión del vapor entre 50 y 100 psig (4,2-7 atm).

Neutralización del azufre

El azufre de que se dispone en Eucaliptus es en forma de gruesos, de dimensión variable. El azufre de este tipo contiene siempre ácido sulfúrico, según el tiempo en que el azufre se haya encontrado almacenado. Por ello el azufre debe ser neutralizado, lo que se realiza utilizando cal, Ca(OH)₂. La cantidad necesaria es 1,5 veces el contenido de SO₄H₂ analizado en el azufre.

Ejemplo: La producción de SO₄H₂ es de 40 t/d. La cantidad de azufre por día = 40 x 0,37 = 14,8 t/d = 0,62 t/h.

El contenido de SO₄H₂ en el azufre = 0,03%.

El contenido de Ca(OH)₂ será de 1,5 x 0,03% = 0,045%.

La cantidad de Ca(OH)₂ por hora será de 0,045% x 620 kg = 3 kg = 3 x 8 = 24 kg/turno de 8 horas.

El tiempo necesario para la neutralización puede considerarse de 3 horas. La cal necesaria se añade gradualmente a la caldera a razón, por ejemplo, de 3 kg cada hora. Aun cuando el azufre no contenga ácido sulfúrico en absoluto es aconsejable añadir Ca(OH)₂ en el foso de fusión a razón de 0,05% la cantidad de azufre estimada.

El factor más importante en la fundición del azufre es la temperatura del azufre líquido. Esta se controla por la presión del vapor utilizado para la fundición y el calentamiento. La presión del vapor es una función directa de la temperatura. Una presión determinada da siempre una temperatura correspondiente determinada. Como se utiliza vapor saturado, pueden controlarse siempre las temperaturas. La temperatura no debe ser demasiado elevada porque entonces el azufre es demasiado viscoso. Para la fundición, la presión del vapor apropiada es de 7 bar, y para otros depósitos, filtración y las tuberías de azufre basta con 5 bar. El nivel del azufre en el foso de fusión debe mantenerse constante dentro de lo posible para una determinada cantidad de producción. Ello es una garantía del buen funcionamiento de la fundición.

4.1.2. Filtración del azufre

El filtro de que se dispone tiene una capacidad de 35 toneladas de azufre por 16 horas y está construido de acero resistente al ácido. El sistema de filtración se compone de un filtro, un recipiente de mezclado previo y las bombas respectivas. Antes de efectuar cada filtración hay que revestir el filtro con material auxiliar que es la tierra de diatomeas.

Se llena la cuba con azufre líquido y se agregan 40 kg de tierra de diatomeas. Una vez mezclada la tierra con el azufre se hace pasar la mezcla a través del filtro por medio de la bomba. La tierra queda en el filtro y contribuye a la protección del lecho. A continuación puede procederse a la filtración real.

Se hace pasar el azufre líquido a través del filtro mediante la bomba de filtración y el resultado obtenido es azufre líquido puro.

En el caso de que quede mucho precipitado en el filtro se saca manualmente; de lo contrario se continúa con la filtración.

La filtración del azufre es totalmente necesaria cuando el contenido de cenizas es superior al 0,1%. Un contenido de cenizas de 0,001% no perjudica el funcionamiento de la instalación. El contenido óptimo es de 0,005%.

Si la producción de la planta es pequeña, como por ejemplo de 20 t/d de SO_4H_2 y especialmente si hay dificultades de filtración, es posible bombear el azufre evitando el filtro durante un breve período de tiempo.

La fundición y la filtración deben disponerse de forma que el foso para el azufre puro esté siempre lleno. Ello garantiza una quema no interrumpida de azufre y esta regla se sigue tanto en las producciones grandes como pequeñas de ácido sulfúrico.

4.2. Quema del azufre

En la operación de quemado hay que tener en cuenta la magnitud de la producción de SO_4H_2 , es decir, que hay que controlar la alimentación de azufre y aire en el horno de azufre.

En el cuadro siguiente se indica la alimentación de azufre y aire seco en el horno para distintas producciones de SO_4H_2 .

Cuadro 1

Alimentación de aire y azufre para distintas cantidades de producción de ácido sulfúrico

SO_4H_2 t/d	Aire Nm^3/h	Azufre kg/h	para obtener 1 ton de SO_4H_2 son necesarios 370 kg de S
100	12.000	1.540	
80	9.600	1.230	
60	7.200	925	
30	3.600	460	
20	2.400	300	

Para todas las producciones

- La temperatura del horno es de 800-900°C
- La concentración de SO_2 8-9 vol % SO_2

Operación del horno de azufre

El quemador de Eucaliptus es del tipo que quema azufre con aire seco a presión. Consta de una cámara de combustión cilíndrica horizontal revestida de material refractario y ladrillos aislantes y está equipada con dos compuertas. El azufre fundido se insufla por un extremo de la cámara de combustión mediante un pulverizador montado en la entrada del aire. Es preferible filtrar el azufre para minimizar la obturación del atomizador.

La entrada de azufre puede generalmente modificarse hasta el 35% sin tener que quitar el atomizador para modificar el orificio. Los atomizadores de aire son los más apropiados cuando la tasa de azufre oscila mucho. La cantidad de azufre que debe quemarse puede regularse variando la carrera de una bomba impulsora o la velocidad de una bomba centrífuga. En Eucaliptus la cantidad de azufre fundido se controla mediante una válvula tipo SKOWLUND. Hay que seguir las instrucciones del fabricante, Chas. S. Lewis & Co. Inc.

La cantidad de aire seco se controla por las rotaciones del motor de la soplante. La pulverización del azufre en el horno se consigue mediante una presión de 5-10 bar. Todas las tuberías del azufre que van al horno se calientan con vapor, así como también el quemador.

En el funcionamiento del horno de azufre hay que tener en cuenta lo siguiente: para evitar explosiones, la alimentación del azufre no debe empezarse antes de haber dirigido el aire al horno. Como en toda quema, hay que enviar primeramente el aire y después el combustible.

La boquilla del quemador de azufre puede cambiarse. Sus orificios pueden estar gastados y la alimentación de azufre es excesiva. En este caso puede adoptarse una nueva boquilla con un orificio menor. El control de precisión se realiza con una válvula SKOWLUND.

Debe regularse la cantidad de azufre de forma que la temperatura del horno se mantenga lo más constante posible. Una temperatura muy conveniente del horno es de 900°C, que corresponde a una concentración de 9 vol % SO₂. A cada temperatura corresponde siempre una concentración determinada de SO₂ (vol % SO₂). En el caso de que la temperatura del horno haya bajado hay que aumentarla de nuevo cuidadosamente. Puede realizarse una subida de 15°C cada 10 minutos. Cuando la temperatura del horno es inferior a 650°C no hay que inyectar azufre. Hay que evitar las temperaturas superiores a 1.000°C para no perjudicar los materiales del horno.

Es preferible que la toma de aire y la alimentación de azufre estén combinadas de forma que no pueda inyectarse azufre sin que haya aire para evitar el peligro de una explosión y causar daños al catalizador.

Nota: En los lugares en que se maneja el azufre líquido debe estar prohibido fumar o realizar todo tipo de trabajo que pueda producir centellas.

Operación de la caldera Nº 1

Después de salir del horno, los gases calientes de SO₂ se enfrían en una caldera. La temperatura del SO₂ es de 900°C a la entrada de la caldera Nº 1 y a la salida de 440-450°C. La caldera está equipada con una derivación por el lado del gas para mejor regular su temperatura al entrar en el convertidor. El medio enfriante en la caldera es agua a 108°C y la caldera produce vapor de 21 kg/cm² y 210°C.

Se realizaron cálculos para ver si la superficie de intercambio de calor en la caldera 1 era suficiente para una producción pequeña. El resultado de dichos cálculos figura en el anexo III. En el anexo VIII se indica un nuevo equilibrio de calor, así como las razones de instalar un transformador en la planta.

4.3. Operación del convertidor

El convertidor de la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus tiene las dimensiones siguientes:

diámetro = 3.200 mm
altura cilíndrica = 10.150 mm
área de la sección = 8,038 m²

El convertidor se divide en cuatro secciones con un lecho de catalizador en cada una de ellas.

El llenado del catalizador se hace de acuerdo con lo indicado por "Industrial Consultants de México" y es el siguiente:

		Altura del lecho
primer lecho	3.200 1	398 mm
segundo lecho	3.800 1	473 mm
tercer lecho	4.800 1	597 mm
cuarto lecho	5.800 1	722 mm
Total	17.600 1	2.190 mm

El catalizador es del tipo "Stauffer Chemical Company". Fue adquirido en 1966 y ya tiene ahora 20 años (1986), pero ha funcionado solamente de 3.500 a 4.000 horas. En 1985 se tomó una muestra que fue analizada por TKP Consultants Warsaw, Polonia. Según los análisis el catalizador se encuentra en buen estado. Por desgracia la muestra no era representativa, ya que se tomó únicamente del cuarto lecho. Ahora se han tomado nuevas muestras que han sido enviadas a analizar.

El motivo de ello es la posibilidad de que se haya dañado el catalizador porque durante una semana se insuflaron al convertidor los gases de combustión procedentes de la quema de gasóleo en el horno de azufre. El incidente se describe en el anexo IV.

Las temperaturas en el convertidor se presentan en el cuadro siguiente y están expresadas en centígrados.

Cuadro 2

Lecho	1		2		3		4	
	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida
Lecho 1	425	610	446	601	452	595	430	549
Lecho 2	438	513	447	517	454	504	440	473
Lecho 3	435	458	448	487	454	497	440	453
Lecho 4	436	439	448	465	453	468	-	-

Lecho	5		6		7		8	
	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida
Lecho 1	480	473	445	450	600	605	480	490
Lecho 2	440	452	445	450	510	520	455	460
Lecho 3	440	443	445	450	480	490	450	455
Lecho 4	-	-	445	450	460	470	445	450

columna 1 = temperaturas nominales que nunca han sido alcanzadas.

columna 2 = temperaturas antes del incidente del 6.6.76.

columna 3 = temperaturas después del incidente del 6.6.76.

La entrada de aquellos gases de combustión tuvo como consecuencia que ahora son necesarias mayores temperaturas de entrada.

columna 4 = temperaturas calculadas por el instituto de investigación polaco para gases de 6 vol % SO₂.

columna 5 = temperaturas calculadas por el instituto de investigación polaco para gases de 2 vol % SO_2 .

Las columnas 4 y 5 no tienen valor alguno para el cuarto lecho porque no fueron calculadas en Polonia.

columna 6 = temperaturas de entrada recomendadas . Las temperaturas son las mismas tanto para la gran producción como para la pequeña.

columna 7 = temperaturas de salida previstas para la producción de 80-100 t/d de SO_4H_2 .

columna 8 = temperaturas de salida previstas para la producción de 30 t/d de SO_4H_2 .

El cuarto lecho ya no reacciona porque todo el SO_2 ya ha reaccionado en los lechos 1-3.

El factor más importante son las temperaturas de entrada. Un convertidor funciona de acuerdo con las temperaturas de entrada y no de salida. Las temperaturas de salida sólo sirven para comprobar lo que ocurre en el lecho de que se trate. Cuando la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida disminuye ello puede significar:

- que la reacción es menor, es decir, que el catalizador pierde actividad
- el lecho está dejando de funcionar, es decir, hay que cribarlo.

Es importante señalar que cuando se trata de una pequeña producción de SO_4H_2 toda la reacción SO_2/SO_3 tiene lugar en los lechos 1, 2 y 3 hasta el punto de que no queda SO_2 para el cuarto lecho. En este caso no hay elevación de temperatura en este último lecho.

Si se quiere saber cuál es la temperatura de entrada óptima pueden hacerse experimentos variando la temperatura. La temperatura óptima es la que da la mayor diferencia con respecto a la de salida. El convertidor soporta una temperatura máxima de 620°C . Las temperaturas de $600-620^\circ\text{C}$ deben evitarse lo más posible. El motivo de ello es que generalmente están contruidos con hierro fundido.

Enfriamiento de los gases en el convertidor

El gas que sale del primer lecho se enfría en la caldera Nº 2 después del segundo y tercer lechos mediante aire seco. El agua de la caldera Nº 2 tiene una temperatura de 108°C y sale de ella como vapor de 21 kg/cm^2 210°C . La caldera Nº 2 funciona como la Nº 1. Para ver si la zona de intercambio de calor en la caldera 2 es suficiente para una producción pequeña de SO_4H_2 se han realizado los cálculos correspondientes. Los resultados se indican en el cuadro 2 y los cálculos son los mismos que para la caldera 1, que figuran en el anexo III.

Debido al incidente ocurrido el 6.6.76 cabe hacer algunas consideraciones acerca del veneno de los catalizadores.

Venenos para el V_2O_5

Estos venenos pueden dividirse en dos grupos según que sus efectos sean
a) continuos o b) temporales.

a) compuestos de efecto continuo



CO más de 1 vol %

polvo de F y derivados

El As_2O_3 disminuye la actividad del catalizador y aumenta la temperatura de reacción. El AsH_3 y el HCL son sustancias reductoras. El SO_4Fe también es una sustancia reductora que se encuentra en el polvo. Además el polvo de esta sustancia obtura los poros del catalizador y reduce su actividad. El flúor y sus derivados corroen la sílice, que es el soporte del catalizador.

b) compuestos con efectos temporales

contenido de O_2 demasiado bajo

exceso de SO_2



S elemento

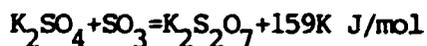
CO inferior a 1 vol %

hidrocarburos

Una característica común a todos estos compuestos es que reducen el catalizador. Pero su influencia puede eliminarse oxidando aquél. Ello se consigue tratando el convertidor con gases diluidos o aire seco a elevadas temperaturas o en condiciones de oxidación.

Activación del catalizador

Algunos fabricantes del catalizador V_2O_5 lo venden en forma de reacción alcalina. El catalizador debe tener reacción ácida antes de poder utilizarse, lo que tiene lugar según la reacción siguiente:



Al comprar el catalizador debe aclararse si está activado o no. En realidad depende del fabricante que sea activo, pero si no lo es puede estropearse en el arranque.

Operación del economizador

El gas trióxido de azufre que sale del convertidor es enfriado mediante un economizador que además calienta el agua de alimentación de la caldera a unos 60°C hasta la temperatura de saturación del vapor a la presión generada en la caldera. Los tubos se instalan con un aislamiento de acero. El economizador está diseñado de forma que la temperatura del trióxido de azufre a la salida es superior al punto de condensación del ácido sulfúrico.

El economizador está equipado con una derivación por el lado de la alimentación de agua para controlar la temperatura de ésta después de haber pasado.

La operación del economizador es la misma en todas las cantidades de producción del ácido sulfúrico. La temperatura del gas al entrar en el economizador es de unos 470°C y al salir de $240\text{-}245^{\circ}\text{C}$.

4.4. Operación de las torres de secado y absorción

La fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus funciona según un sistema de ácido único, es decir, se utiliza la misma concentración de ácido (nominal $98\% \text{SO}_4\text{H}_2$) tanto para absorber el trióxido de azufre después de pasar por el convertidor como para secar el aire que se utiliza en la planta. El resultado de este sistema es un mejor secado del aire debido a la inferior presión del vapor de agua del ácido concentrado. El funcionamiento de la planta es más sencillo ya que no es necesario equilibrar los flujos y concentraciones de dos o más ácidos en los sistemas de absorción y secado.

La corrosión de las tuberías, enfriadores y equipos es mínima ya que el ácido fuerte es menos corrosivo que el débil. También exige menos mantenimiento porque el sistema del ácido ocasiona menos corrosión y es más fácil de diseñar.

Hay un tanque común de circulación del ácido desde el cual una bomba sumergida envía el ácido a ambas torres. En la tubería de ácido antes de llegar a cada torre hay un sistema enfriador por agua que enfría el ácido a las temperaturas deseadas.

La bomba tiene una unidad de reserva.

El volumen del tanque de circulación del ácido común es de $24,5 \text{ m}^3$, con entrada de agua. La concentración $98,5\% \text{SO}_4\text{H}_2$ del ácido de absorción se controla con el sistema automático de dilución basado en la conductividad eléctrica del ácido sulfúrico concentrado.

El ácido procedente de la torre de secado tiene una concentración inferior a 98% , tal vez de un 96% , y el ácido procedente de la torre de absorción algo más del 98% . El agua y los distintos ácidos del proceso se mezclan según una concentración que se controla mediante la conductividad eléctrica como se dijo anteriormente.

Temperaturas del ácido

- en el tanque de circulación de $95\text{-}100^{\circ}\text{C}$
- del ácido secado es de $50\text{-}60^{\circ}\text{C}$, aunque 60°C es preferible
- del ácido de absorción $70\text{-}80^{\circ}\text{C}$, siendo 80°C la preferible

Cuando se trata de una producción pequeña de ácido sulfúrico los ácidos de secado y absorción deben tener las mismas temperaturas. La temperatura del tanque de circulación del ácido puede bajar hasta 80°C pero no menos. Si la temperatura es inferior la absorción será menor. La temperatura óptima para la absorción son 80°C y para el secado unos 60°C cuando se trata de obtener 98% de SO_4H_2 .

Cantidad de ácido circulante

La capacidad total de circulación de la bomba de ácido es de $91 \text{ m}^3/\text{h}$ y se divide entre el secado y la absorción de la manera siguiente:

secado $45 \text{ m}^3/\text{h} - 32 \text{ m}^3/\text{h}$

absorción de $46 \text{ m}^3/\text{h}$ (equilibrio) - $59 \text{ m}^3/\text{h}$

La cantidad de ácido se regula mediante rotómetros.

Relación de impregnación de las torres

La velocidad de impregnación = m^3 de ácido por m^2 de sección por hora = $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$. El diámetro interior de las torres es de 2,286 m. Así, como la sección es igual a $4,10 \text{ m}^2$, la velocidad de impregnación da una media para ambas torres de

$$= \frac{91}{4,1 + 4,1} = 11,1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

que es un valor razonable.

La velocidad de impregnación en las plantas modernas es frecuentemente de $20-30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ y aún superior, según las circunstancias. No hay motivo para que las torres funcionen peor con una capacidad de producción de SO_4H_2 menor, por lo que mantenemos la velocidad de impregnación al mismo nivel que para la producción de $100 \text{ t/d SO}_4\text{H}_2$. Así, la cantidad de circulación del ácido es la misma para todos los tipos de producción de SO_4H_2 .

4.4.1. Operación de la torre de secado

El secado de los gases con ayuda del ácido sulfúrico depende de las cualidades higroscópicas del ácido sulfúrico fuerte. Como una concentración de 98% de SO_4H_2 no da lugar a una presión del vapor importante a las temperaturas de $70-80^\circ\text{C}$, es posible conseguir un secado absoluto utilizando este ácido.

El aire que debe ser tratado no debe contener neblina de agua porque el ácido sulfúrico no la absorbe en ninguna forma. Así pues, el aire debe estar desprovisto de toda neblina producida por el agua. El secado del aire antes de quemar el azufre es indispensable ya que después de la quema no hay forma de secar el gas. Si el gas contiene agua, después de pasar por el convertidor la condensará y formará ácido sulfúrico con el SO_3 , que se condensará en las distintas partes de los aparatos. El agua de por sí no es perjudicial para la conversión y no contamina el catalizador.

Un buen secado exige determinadas condiciones. El aire debe ser ópticamente claro y no demasiado caliente, como ocurre en Eucaliptus. Si fuera caliente contendría más agua y cargaría la torre de secado innecesariamente. Además, la circulación, concentración y temperatura del ácido deben controlarse continuamente. Después de pasar por la torre de secado, el aire debe analizarse de vez en cuando para determinar su contenido de agua. El secado se puede calificar de la manera siguiente:

El secado es excelente si el aire contiene $50 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$

El secado es bueno si el aire contiene $50\text{-}100 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$

El secado es normal si el aire contiene $100\text{-}140 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$

El secado es satisfactorio si el aire contiene $140\text{-}180 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$

El secado es malo si el aire contiene más de $180 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$

Si el contenido de agua es de $250 \text{ mg H}_2\text{O/m}^3$ debe cerrarse la planta inmediatamente y averiguar el motivo de ello.

4.4.2. Operación de la torre de absorción

En la torre de absorción el SO_3 es absorbido por el ácido sulfúrico concentrado circulante y forma con el agua obtenida de la torre de secado y del exterior nuevo ácido sulfúrico. La reacción es exotérmica y el calor es eliminado por los enfriadores. La concentración óptima del ácido de absorción = $98,3\text{-}98,8\% \text{ SO}_4\text{H}_2$, en un promedio de $98,5\%$. Cuando la concentración es inferior o superior se forma neblina. Por ello el control de la concentración debe ser muy preciso, lo que se consigue por la conductividad eléctrica.

El papel de la temperatura para la absorción no es tan decisivo como para el secado. Una temperatura de absorción adecuada es la comprendida entre $70\text{-}80^\circ\text{C}$. Por supuesto, es la misma tanto para pequeñas como grandes producciones de SO_4H_2 .

Capítulo 5

Control del funcionamiento de la planta

El funcionamiento de la planta se controla mediante

- observaciones personales
- análisis
- instrumentos

5.1. Control del funcionamiento de la planta por observación personal

Según las circunstancias, debe controlarse continuamente:

Fundición del azufre

- nivel del azufre en el foso de fusión
- temperatura de fusión mediante la presión del vapor
- neutralización del azufre añadiendo cal a pequeños intervalos

Filtración del azufre

- preparación del prerrevestimiento
- operación de la bomba de prerrevestimiento
- operación de la bomba para la filtración
- limpieza del filtro

Foso para el azufre filtrado

- temperatura del azufre
- nivel del azufre en la cuba

Quema del azufre

- operación de la bomba de azufre
- operación de la válvula
- caudal de azufre (kg/h)
- flujo de aire seco (Nm^3/h)
- temperatura del horno

Caldera Nº 1

- temperatura del gas que entra en la caldera
- temperatura del gas que sale de la caldera
- temperatura del agua que entra en la caldera

- temperatura y presión del vapor que sale de la caldera
- nivel del agua en la caldera

Convertidor

Supervisión continua

- temperatura del convertidor
- volumen del gas
- concentración de SO_2
- conversión total del convertidor
- análisis cualitativo del gas en cuanto a SO_2 y H_2O (véase el anexo I)

Supervisión semanal

- cantidad de condensado en el economizador
- debe medirse la caída total de la presión en el sistema del convertidor (al medir, las condiciones deben ser siempre las mismas)

Supervisión mensual

- conversión de cada lecho
- control de aislamiento del sistema total del convertidor
- controlar si el sistema del convertidor es estanco al gas en el caso de que el sistema haya sufrido excesivos arranques

Caldera Nº 2

- temperatura del gas que entra en la caldera
- temperatura del gas que sale de la caldera
- temperatura del agua que entra en la caldera
- temperatura y presión del vapor que sale de la caldera
- nivel del agua en la caldera

Economizador

Supervisión continua

- la temperatura del gas a la salida
- la temperatura del agua de alimentación a la entrada y a la salida
- presión del agua de alimentación a la entrada y a la salida
- composición del agua, especialmente en su contenido de O_2

Supervisión semanal

- cantidad de condensado
- baja de presión por el lado del gas

Supervisión mensual

- control del aislamiento
- si ha habido muchos arranques, controlar si el economizador es estanco al gas y al agua

Torre de absorción

Supervisión continua

- operación de bombas y motores
- nivel del ácido en el tanque de circulación
- concentración del ácido en circulación
- temperatura del ácido antes y después de los enfriadores

Supervisión diaria

- controlar si hay fugas de ácido en los enfriadores
- la distribución del ácido en la parte superior de la torre. Ello puede hacerse mediante la mirilla correspondiente. Si hay neblina en la parte superior significa que el secado o la absorción son defectuosos
- regulación del agua enfriante en los enfriadores del ácido

Supervisión semanal

- las bombas, motores y válvulas exigen una atención continua
- las tuberías y los enfriadores en cascada deben limpiarse

Torre de secado

Las mismas observaciones que para la torre de absorción.

5.2. Control del funcionamiento de la planta mediante análisis

Los análisis referentes al funcionamiento de la planta deben hacerse según el cuadro siguiente

Análisis	Frecuencia
- Análisis del azufre según las especificaciones (capítulo 1)	Para cada entrega de azufre
- Análisis del SO_4H_2 según las especificaciones (capítulo 1)	Para cada entrega de SO_4H_2
- Acidez del azufre (cuba de bombeo)	Cada día
- SO_2 del gas antes del convertidor	Cada día

- Conversión total del convertidor Cada día
- Análisis cualitativo del gas de contacto en AS y H₂O Cada día
- Conversión de cada lecho del convertidor Una vez al mes
- Composición del agua que alimenta el economizador especialmente en su contenido de O₂ Cada día
- Comprobación del ácido de la torre de absorción Cuando sea necesario

5.3. Instrumental

Generalidades

El instrumental de las plantas modernas de contacto consiste especialmente en pirómetros indicadores y registradores, junto con termopares para medir las temperaturas del gas y del ácido. Normalmente se registran las temperaturas medidas en el convertidor y en el horno, mientras las demás solamente se indican. Además de las mediciones de la temperatura, también se miden y registran las concentraciones del ácido en circulación mediante instrumentos basados en células de conductividad. Las presiones y temperaturas del vapor y del agua que alimenta las calderas se miden mediante dispositivos de presión, pirómetros y termómetros colocados por toda la planta. Las aguas de enfriamiento y proceso se miden de forma parecida. Las plantas tienen controles protectores para los puntos críticos de operación, como por ejemplo para impedir que el azufre se dirija al horno cuando el aire para la combustión no entra en el mismo, el control del nivel de la caldera, la presión del aceite para los sopladores de alta velocidad, etc. No es corriente instalar controles automáticos en las plantas de contacto ya que el control manual se ha simplificado tanto que en la actualidad basta con ajustar el registro de tiro y las válvulas para modificar el ritmo de producción de la planta.

Control del funcionamiento de la fábrica de Eucaliptus mediante instrumentos

Lista de instrumentos:

A. Instrumentos en la planta

Foso de fusión

1 termopar

Filtro de azufre

1 manómetro, gama 0-100 psig

1 manómetro en la línea del aire, 0-100 psig

Soplante

1 manómetro	0-2 kg/cm ²
1 manómetro	0-4 kg/cm ²
1 manómetro	0-42 kg/cm ²

1 manómetro	0-30 psig
1 termómetro	0-300°C
2 termómetros	30-240°F
1 termómetro	50-400°F
1 tacómetro	3.000-75.000 r/min

Horno de azufre

1 termómetro	50-400°F
1 termopar para los gases de combustión	0-1.315°C

Caldera

1 indicador automático de nivel	
1 manómetro	0-42 kg/cm ²
1 termopar	

Convertidor

8 termopares	0-815°C
--------------	---------

Economizador

1 termómetro	0-150°C
1 termómetro	0-300°C
1 manómetro	0-42 kg/cm ²

Torre de absorción

2 termopares

Torre de secado

1 termopar

Tanque de circulación del ácido

1 cédula de conductividad
1 indicador de nivel del ácido

Enfriamiento del ácido

1 manómetro	0-400 psi
1 termómetro	0-100°C

Tanque de almacenamiento del ácido

2 indicadores del nivel del ácido

B. Instrumentos en la sala de control

1 registrador múltiple de temperaturas	0-1.000°C
1 registrador múltiple de temperaturas para el convertidor	0-1.000°C
1 registrador de temperaturas - indicador del horno de azufre	0-1.200°C
1 registrador de la concentración del ácido producido	
1 indicador del gasto de agua para la dilución del ácido	0-33 lpm
1 indicador del nivel de ácido	0-202 cm
1 manómetro regulador	0-7 kg/cm ²
1 panel de alarma con 24 controles	
3 manómetros	3-15 psi
1 manómetro	0-42 kg/cm ²

Todos los instrumentos de la sala de control están colocados en el panel de control.

Los 24 controles del panel de alarma son los siguientes:

- detención de la bomba de azufre
- detención de la bomba de filtrado de agua
- la bomba de condensado no funciona
- la bomba de circulación de aire del ácido no funciona
- la bomba del río A no funciona
- la bomba del río B no funciona
- la bomba del río C no funciona
- el ventilador A para la condensación del vapor no funciona
- el ventilador B para la condensación del vapor no funciona
- baja presión de la descarga del inyector de aire
- baja presión del aire de los instrumentos
- baja presión del vapor
- baja presión del agua de alimentación de las calderas
- bajo nivel del tanque de agua
- alto nivel del tanque de agua
- alto nivel de la cúpula
- bajo nivel de la cúpula
- fallo de la caldera auxiliar
- alto nivel del tanque de filtración del agua (cemento)

- bajo nivel del tanque de filtración del agua (cemento)
- bajo nivel del tanque de agua
- alto nivel del tanque de agua
- alto nivel del tanque de tratamiento previo del agua
- bajo nivel del tanque de tratamiento previo del agua

Quando se produce un fallo se enciende una luz en la ventanilla correspondiente y se escucha un timbre de alarma. En el panel de control hay también lugar para instrumentos del motor y turbogenerador y el sincronizador.

En la sala de control se lleva un diario en el que todos los parámetros del panel se anotan cada dos horas. También se anotan los análisis a medida que se realizan. Los análisis que deben realizarse son los siguientes:

- cualitativo y cuantitativo del agua en el gas, después de la torre de secado
- control analítico del arsénico en el gas
- conversión de SO_2/SO_3
- contenido ácido del gas después de la torre de absorción.

Capítulo 6

Arranque y paro de la instalación

6.1. Principios generales para arrancar y parar una planta de ácido sulfúrico

Entre los principios esenciales para el buen arranque y paro de una planta de contacto figuran los siguientes: el material refractario del horno, la caldera y los gases de combustión deben calentarse o enfriarse a una velocidad prudencial para no causar daños en la instalación. La caldera de recuperación y el economizador deben calentarse o enfriarse gradualmente para evitar esfuerzos mecánicos y acercarse a su presión de funcionamiento de conformidad con los métodos recomendados. El resto del equipo, comprendidos los termopermutadores, el convertidor, etc., debe calentarse y enfriarse a una velocidad regulada para evitar tensiones. El convertidor debe calentarse o enfriarse de manera que se evite la condensación de la humedad y el ácido en los lechos del catalizador y en las superficies internas del convertidor. El ácido en los sistemas de absorción y secado debe mantenerse lo más estrechamente posible dentro de los límites normales de operación para las concentraciones y temperaturas.

Para poner en marcha una planta fría, el equipo mecánico general, tal como calderas, bombas, sopladores de aire, instrumentos, controles, etc., debe mantenerse, probarse y ponerse en marcha de acuerdo con los métodos recomendados. A continuación nos referimos al equipo y métodos del proceso correspondientes a las plantas de contacto modernas. Según su diseño, las plantas tienen distintas unidades de equipo y disposición de las tuberías, pero los principios expuestos son de carácter general.

El primer paso referente al equipo de tratamiento es el calentamiento del horno, la caldera y los gases intercomunicantes. Deben calentarse lentamente mediante la quema de gasóleo o combustible gaseoso en el horno de azufre, utilizando aire atmosférico no secado para la combustión. La velocidad de aumento de la temperatura y las temperaturas máximas permisibles en el equipo dependerán del diseño de la planta.

El calentamiento de la caldera inicia la producción de vapor, que se utiliza para fundir el azufre o para otros fines. Los gases de combustión contienen vapor de agua. Al principio del ciclo de calentamiento por lo menos, las temperaturas relativamente bajas favorecen la condensación. Por lo tanto, el gas de combustión se expulsa a la atmósfera antes de llegar al convertidor. Una vez calentado el horno, se suspende la quema de combustible y a continuación el calor absorbido por el ladrillo refractario del horno se dirige al convertidor y recuperador de calor mediante el paso de aire seco a través del horno. El aire seco se obtiene operando el sistema de la torre de secado. Este proceso de alternar el calentamiento del horno quemando combustible y ventilando el gas de combustión y después dirigiendo el calor producido al convertidor mediante aire seco, se repite tantas veces como sea necesario hasta que la temperatura de todas las partes del convertidor se ha elevado muy por encima del punto de condensación de los gases de combustión. A continuación se reanuda la quema del combustible en aire

atmosférico no secado. Una vez el convertidor y el catalizador se encuentran por encima del punto de rocío, se deja que el gas caliente pase por el convertidor. No se producirá la condensación si la temperatura se encuentra por encima del punto de rocío. Como estos gases contienen vapor de agua en abundancia no se les permite en general entrar en el sistema de absorción porque la condensarían o bien sería absorbido y diluiría el ácido del sistema. Por lo tanto, normalmente se ventilan a la atmósfera después de pasar por el convertidor y antes de llegar al economizador o enfriador de trióxido de azufre. Prosigue el calentamiento del convertidor mediante el paso de los gases de combustión calientes, hasta que el lecho superior del catalizador se encuentra por encima de la temperatura normal de entrada y los demás lechos se aproximan a ella. Luego se suspende la quema de combustible.

El azufre se introduce en el quemador del horno y se quema en aire secado introducido por el funcionamiento normal de la torre de secado. El dióxido de azufre entra en el convertidor y la reacción consiguiente proporciona más calor, que sirve para recalentar los lechos siguientes del catalizador y otros equipos de la planta. El trióxido de azufre entra en la torre de absorción ya que está puesta en funcionamiento con el sistema de secado para producir aire seco para la quema del azufre. Con la adición del trióxido de azufre y el agua en el sistema de absorción, se inicia la producción de ácido y la planta empieza a funcionar. La concentración de ácido y las temperaturas y presiones de la planta se llevan al nivel normal de funcionamiento y se fija la velocidad de funcionamiento de ésta para que corresponda al programa de producción deseado. Se necesitan de 24 a 36 horas por lo menos para poner plenamente en marcha una planta fría. En el caso de que parte del equipo como es el convertidor, el horno, etc., contengan algún calor en el momento del arranque, el procedimiento descrito anteriormente puede acortarse en consonancia.

Para detener la planta ordenadamente, no de un modo forzado por una urgencia, suelen seguirse los pasos siguientes. Normalmente, en el proceso de arranque y paro de una planta el ácido del sistema de absorción se diluye. Por ello, antes del cierre se eleva la concentración de ácido en circulación de 1/2-1% para permitir la disolución posterior. El paro real empieza con la detención de la corriente de azufre al quemador. Después se reduce el flujo de aire seco a través de la planta, aunque se mantiene todavía para limpiar el equipo y llevarse el dióxido de azufre del horno y la caldera al convertidor y todo trióxido de azufre del convertidor y el catalizador al sistema de absorción. Conseguidas estas etapas, si el objeto del cierre es mantener calor en el convertidor y recuperador de calor y en el horno, puede cortarse la corriente de aire seco y cerrar los registros de tiro para que el equipo conserve el calor.

Por otro lado, si con el cierre se pretende mantener el equipo a la temperatura ambiente se pasa el aire no secado por el horno y el convertidor para enfriarlos. Generalmente, el aire se ventila a la atmósfera antes de llegar al sistema de absorción para impedir la dilución del ácido en el sistema. Puede seguir utilizándose el aire no secado hasta que la temperatura del convertidor se acerca al punto de rocío y luego se obtiene aire seco de la torre de secado que se utiliza para seguir enfriando. Ello tiene por objeto evitar la condensación del agua o del ácido en cualquier parte del catalizador y del convertidor. En caso de urgencia o de una avería mecánica, se modifica el procedimiento en consonancia.

De ser posible debería suprimirse la presencia de dióxido y trióxido de azufre en la planta mediante aire secado. Posteriormente se utiliza aire no secado y el sistema puede ventilarse hacia la atmósfera antes de llegar al convertidor si se desea enfriar el horno y la caldera únicamente y no el convertidor y recuperador de calor. Una vez cerrada la planta el equipo mecánico debería ser entretenido de acuerdo con los métodos recomendados. En las plantas de contacto modernas con buenos quemadores de pulverización, la producción de dióxido de azufre se detiene instantáneamente al interrumpir la corriente de azufre al horno y la mayor parte de los gases de azufre que quedan en el equipo de la planta puede dirigirse al sistema de absorción en cuestión de minutos. Si se continúa el enfriamiento, como se ha dicho anteriormente, el equipo que funciona a temperaturas inferiores, como los recuperadores de calor, gases de combustión, etc., puede enfriarse lo suficiente como para realizar trabajos de reparación en unas 12-18 horas; el equipo que funciona a temperaturas superiores, como el convertidor, el horno y la caldera, exige generalmente de 36 a 48 horas para estar lo suficientemente frío como para realizar trabajos de reparación.

Revisiones habituales durante el paro

Durante el paro de la planta se llevan a cabo los trabajos de mantenimiento habituales de distintos aparatos. Las partes siguientes son inspeccionadas, limpiadas o reparadas, según haga falta: inyector de aire, motor del inyector, fosos de fundición del azufre, filtros del azufre, quemador del azufre, caldera de recuperación, tuberías de drenaje, sistema de enfriamiento del ácido, instrumentos, instalación eléctrica, bombas, convertidores, tuberías y depósitos de almacenamiento.

En caso necesario el catalizador de los convertidores se criba y se coloca de nuevo. También se limpian los tamices que aguantan el catalizador.

6.2. Arranque de la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptus

6.2.1. Renovación de la planta

- Habrá que revisar y renovar las tuberías para el vapor, azufre, agua y ácido de toda la instalación en caso de que estén en malas condiciones. Lo mismo es de aplicación a las tuberías de aire y gas.
- El foso de sedimentación no está equipado con tuberías de vapor porque ya no se utiliza con estos fines.
- El motor eléctrico de la soplante es preferible instalarlo con la ayuda de un técnico de la casa suministradora.
- Debe renovarse el catalizador del primer lecho del convertidor.
- Comprar e instalar el recuperador de calor para el ácido producido. Se recomienda que el recuperador sea del tipo Alfa-Laval.
- Un especialista en instrumentos vigilará el instrumental y lo renovará cuando sea necesario.
- Un electricista hará lo propio con la instalación eléctrica.

- Un especialista en calderas las controlará, así como los economizadores y los renovará en su caso.
- Se recomienda el montaje de un pequeño laboratorio en el que puedan realizarse los análisis mencionados en el capítulo 4 del manual.
- También se recomienda la instalación de un pequeño taller que contenga por lo menos una taladradora y el equipo necesario para la labor de mantenimiento, así como para la soldadura eléctrica, soldadura con acetileno, etc.
- Se realizarán las demás renovaciones que sean necesarias.

6.2.2. Medidas preparatorias

- Se revisarán todas las tuberías para el aire y el gas para ver si contienen cuerpos extraños como pedazos de madera, etc. La presencia de pedazos de madera, por ejemplo, en la parte de succión del soplador de aire podría perjudicarlo.
- Después de revisar las tuberías se lleva a cabo el ensayo de la soplante.

Se aspira el aire atmosférico y se insufla por la torre de secado y el resto del sistema. Hay que revisar especialmente los dispositivos de control del volumen de aire.

El ensayo durará por lo menos 8 horas.

Tanto la torre de secado como la de absorción deben estar secas, es decir, no debe permitirse la circulación de ácido durante la prueba.

- Instrumental. Debe vigilarse el funcionamiento de todos los instrumentos. Los registradores funcionarán por lo menos durante 12 horas.
- Los indicadores luminosos, los dispositivos automáticos y los dispositivos de seguridad deben controlarse en funcionamiento.
- También hay que controlar las medidas de seguridad destinadas al personal de operaciones. Se trata del equipo protector como caretas antigás, guantes y botas resistentes al ácido y demás. Tampoco deben olvidarse las duchas de seguridad ni el material de primeros auxilios.
- El tanque de circulación del ácido debe llenarse con SO_4H_2 al 98,5%. Este no se produce en estos momentos sino más adelante en el proceso de arranque, como se indicará.
- Se comprueba la estanqueidad de las tuberías del ácido insuflando aire comprimido.
- Las tuberías de aire y gas se comprueban únicamente cuando contienen SO_2 . La supervisión se realiza mediante una botella de NH_3 . En el caso de que haya fugas de SO_2 se formará una niebla por combinación con el amoníaco. Conviene llevar a cabo este ensayo cada seis meses cuando la planta está en funcionamiento normal para comprobar las juntas de las válvulas y juntas de soldadura.

6.2.3. Inicio de la fusión del azufre

Para fundir el azufre hay que poner en marcha la caldera auxiliar ya que no existen todavía vapores procedentes del proceso. La caldera auxiliar funciona con gasóleo y se calienta lentamente hasta su temperatura de funcionamiento. El calentamiento puede realizarse en dos o tres días.

Cuando se ha llegado a un vapor de 21 atm 210°C empieza el calentamiento del foso. El vapor de 21 atm se reduce a 7 atm y se dirige a los serpentines de calentamiento del foso de fusión. Conforme va fundiéndose el azufre se añade azufre sólido. Al mismo tiempo se agrega cal (CaOH_2) según los análisis de la acidez del azufre (la cantidad de cal = 1,5 veces la acidez del azufre en porcentaje). La capacidad del horno es de 40 toneladas de azufre y su llenado lleva de 2 a 3 días.

Cuando el nivel del azufre en el foso llega a cierto nivel (foso lleno) puede iniciarse la filtración. La filtración y la fundición del azufre prosigue a plena capacidad hasta que queda lleno el depósito de filtración (115 toneladas). El llenado de dicho depósito lleva unos 3 días.

El azufre está ya pues preparado para su quema que en todo caso únicamente puede empezar hasta que el horno y el convertidor están calentados.

6.2.4. Calentamiento del horno de azufre, la caldera y el convertidor

Medidas ante de empezar a calentar

- Se llena el tanque de circulación del ácido para las torres de secado y absorción con SO_4H_2 de 98,5%.
- Se lleva a cabo un ensayo del funcionamiento de las torres. Se trata de comprobar la distribución del ácido en la cima de las torres y el funcionamiento en general de las bombas, tuberías y enfriadores. La distribución del ácido puede seguirse a través de las mirillas situadas en la cima de las torres. El ensayo dura 8 horas y durante el mismo se detiene la circulación del ácido.
- Se inicia la circulación del agua de alimentación del economizador y la caldera. Se calientan el horno y la caldera quemando gasóleo. Para la combustión se utiliza aire atmosférico no secado. Los gases de la combustión se expelen a la atmósfera antes de llegar al convertidor. Se permite que la temperatura del horno aumente según el cuadro siguiente.

Después de 1 día la temperatura será de 100°C .

Después de 2 días la temperatura será de 200°C .

Después de 3 días la temperatura será de 300°C .

Después de 4 días la temperatura será de 400°C .

Después de 5 días la temperatura será de 500°C .

Después de 6 días la temperatura será de $600-800^{\circ}\text{C}$.

Cuando la temperatura del horno llega a 700-800°C se suspende la quema de gasóleo. El calor del ladrillo refractario del horno se dirige al convertidor recuperador mediante el paso de aire secado procedente del horno y al sistema convertidor. El aire secado se obtiene mediante el funcionamiento de la torre de secado.

Este procedimiento de calentar el horno mediante la quema de gasóleo y ventilar los gases de combustión y alternativamente impeler el calor en el convertidor mediante el aire secado se repite las veces que sea necesario hasta que la temperatura de todas las partes del convertidor se ha elevado muy por encima del punto de condensación, es decir, por encima de 250°C. Luego se reanuda la quema de combustible con aire atmosférico sin secar. Se permite que el gas caliente pase por el convertidor. No se producirá condensación si la temperatura es superior al punto de rocío, es decir, 250°C. Después de pasar por el economizador se ventila el gas, no permitiéndosele que pase por la torre de absorción.

El volumen de aire seco que debe tomar el convertidor es:

en la primera transferencia de calor 1.800 Nm³/h

en la siguiente transferencia de calor 1.650 Nm³/h

después 1.500 Nm³/h

y finalmente 1.350 Nm³/h

hasta que la temperatura del primer lecho del catalizador alcanza los 440-450°C. El tiempo para la transferencia del calor y para el calentamiento del horno es de 7 horas.

Cuando la temperatura del primer lecho alcanza los 440-450°C se suspende la quema de combustible. Se alimenta el quemador del horno con azufre, el cual se quema en aire seco producido por el funcionamiento normal de la torre de secado. A continuación el gas SO₂ entra en el convertidor. La reacción consiguiente proporciona calor complementario que calienta todavía más los lechos siguientes del catalizador y otros equipos de la planta. El gas SO₂ entra en la torre de absorción ya que funciona con el sistema de secado para la producción de aire seco destinado a la quema de azufre. Con las adiciones del gas SO₂ y H₂O en el sistema de absorción se inicia la producción de ácido y la planta entra en funcionamiento. Las concentraciones de ácido y las temperaturas y presiones de la planta se sitúan a los niveles normales de funcionamiento. Se fija entonces la velocidad de funcionamiento de la planta de acuerdo con el programa de producción deseado.

Cuando se suspende la quema de combustible, la temperatura del horno debe ser por lo menos de 650°C, que es la temperatura mínima a la que puede iniciarse la quema del azufre. En realidad, esta temperatura debería de ser algo más alta. La insuflación de aire en el horno debe iniciarse antes de introducir el azufre. La circulación de ácido en la torre de absorción empieza antes de alimentar el horno con azufre. Se para la caldera auxiliar cuando la producción de vapor es alta y lo suficientemente continua para el proceso. La concentración del SO₂ se controla por la temperatura de quema del azufre en el horno. Una temperatura determinada da siempre una concentración de SO₂ determinada a condición de que la temperatura del aire sea

constante. Si la temperatura en el horno es demasiado baja puede aumentarse lentamente. Es permisible un aumento máximo de 15°C cada 10 minutos, lo que se consigue aumentando cuidadosamente la cantidad de azufre.

Los gases de la combustión no deben pasar a través del convertidor ya que pueden contener CO que contaminaría el catalizador. Además, pueden contener vestigios de gasóleo no quemado que también es perjudicial para el catalizador. En el anexo 5 figuran los gráficos que indican la relación entre la temperatura del horno de azufre y la concentración de SO_2 .

6.2.5. Paro de la instalación

He aquí los pasos que deben seguirse cuando se quiere interrumpir el funcionamiento de la planta no tratándose de una emergencia. En general en el paro y el arranque de la planta el ácido de absorción se diluye. Por ello, mientras la planta todavía funciona se eleva la concentración del ácido en circulación del 1/2-1% antes del cierre, para permitir la dilución posterior.

El paro se empieza deteniendo la corriente de azufre que se dirige al quemador. El flujo de aire seco se reduce a $1.800 \text{ Nm}^3/\text{h}$, pero se mantiene para limpiar el equipo y eliminar el SO_2 del horno y la caldera llevándolo al convertidor y todo el SO_3 del convertidor y el catalizador hacia la torre de absorción. Una vez realizada esta operación puede detenerse la corriente de aire seco y cerrarse los registros de tiro de la planta para que el equipo mantenga el calor. Este es el procedimiento para un cierre de corta duración.

Si lo que se desea es un paro prolongado para enfriar el equipo a la temperatura ambiente, se mantiene la corriente de aire seco hasta que el equipo queda libre de dióxido y trióxido de azufre. El objetivo se ha alcanzado cuando la temperatura del equipo corresponde aproximadamente a la temperatura ambiente. El tiempo necesario es de 36-48 horas para el equipo que funciona a mayores temperaturas, como el convertidor, el horno y las calderas, y para el equipo que funciona a temperaturas más bajas, de 12-18 horas, tratándose de los termostatos, gases de combustión. etc.

El enfriamiento es entonces suficiente para entrar en la planta y proceder a reparaciones en caso necesario. La planta puede también enfriarse utilizando aire no seco. En este caso se insufla aire antes del sistema de secado. El aire no secado puede utilizarse únicamente con temperaturas superiores a 250°C que es el punto de rocío. Desde 250°C hasta la temperatura ambiente se utilizará nuevamente aire seco.

Nota:

En el anexo VII se indican las posiciones de los obturadores y válvulas para el arranque y paro.

Capítulo 7

Medidas de seguridad a tener en cuenta durante el funcionamiento, el arranque y el paro de la planta

La primera medida de seguridad es un Programa de medicina preventiva.

Un programa de medicina preventiva empieza con el reconocimiento médico anterior a la contratación del personal, a fin de que el trabajo que se asigne a éste sea compatible con su estado físico y mental. Los reconocimientos periódicos posteriores ofrecen la oportunidad de realizar un descubrimiento precoz de posibles enfermedades, lo que permite adoptar medidas correctivas antes de que aquéllas se agraven. El reconocimiento médico también debería realizarse antes de que el trabajador se reintegre a su puesto después de una ausencia por enfermedad o lesiones.

Uno de los factores más importantes para la salud y seguridad de los empleados es una educación adecuada en cuanto a los peligros, medidas preventivas y de control, y procedimientos de primeros auxilios. El tratamiento inmediato de las heridas puede impedir graves complicaciones y acelerar la recuperación y rehabilitación.

Las fichas médicas de las visitas al departamento médico o de primeras ayudas ofrecen una valiosa información sobre la eficacia de las medidas de control y de la instrucción y supervisión de los empleados. Una elevada incidencia de visitas originadas en una parte determinada de la fábrica demuestran que las medidas de control deben mejorarse. Así pues, la vigilancia médica del trabajador sirve también de guía para el control técnico.

Otro factor que afecta directamente al trabajador es el equipo protector. Este equipo consta de caretas antigás, respiradores, gafas de seguridad y ropas especiales. En este caso también es esencial que los usuarios estén debidamente instruidos y supervisados acerca del debido empleo y mantenimiento del equipo para aprovechar al máximo su utilización.

Las medidas de seguridad son las mismas tanto durante el funcionamiento de la planta como en las etapas de arranque y paro. La única diferencia es que, por ejemplo, en la fase de arranque, la concentración de contaminantes es mucho mayor y por ello son más necesarias las medidas preventivas.

A continuación examinaremos las sustancias que pueden crear situaciones peligrosas en la planta: azufre, pentóxido de vanadio, dióxido de azufre, arsénico, trióxido de azufre y ácido sulfúrico. También se exponen las medidas generales de seguridad, el equipo protector y las ropas protectoras.

Materias primas

Azufre. El azufre elemento es prácticamente no tóxico por lo que la inhalación del polvo de azufre no produce efectos nocivos. El azufre es irritante para los ojos, las membranas mucosas y la piel, y por ello puede clasificarse de polvo molesto. Cuando se almacena en montones al exterior, el viento puede levantar suficiente polvo para causar aquellas irritaciones, por lo que puede ser conveniente utilizar gafas cerradas y respiradores.

Un buen almacenamiento, sin embargo, puede minimizar estas molestias. Los peligros de desmoronamiento del azufre almacenado en depósitos o montones no deben descuidarse. La tendencia hacia el envío y almacenamiento del azufre fundido subsana evidentemente estas características molestas.

Pentóxido de vanadio. En las plantas de ácido sulfúrico de contacto el empleado que maneja el catalizador de vanadio está expuesto a un grave peligro. La limpieza del catalizador puede exponer a los empleados a dicho peligro cuando deben entrar en los convertidores para cambiar y limpiar el catalizador. Para reducir dicho riesgo, el catalizador de las plantas de contacto modernas se retira por procedimientos neumáticos y se filtra en el exterior. Los empleados en todo caso están protegidos durante la exposición mediante respiradores.

La toxicología del vanadio es mal conocida, especialmente con respecto a sus efectos crónicos y sistémicos. El estudio de los peligros sanitarios propios de la minería y tratamiento del mineral de vanadio y el manejo de las cenizas del aceite residual que contiene vanadio, concuerdan en general en cuanto los efectos agudos del polvo de pentóxido de vanadio. La exposición a dicho polvo produce irritación en los ojos y en el conducto respiratorio. He aquí algunos de los síntomas que pueden observarse: irritación del tejido conjuntivo, rinitis, inflamación de la mucosa oral, sabor a metálico, coloración negro-azul de la lengua, irritación de la garganta, tos, bronquitis, neumonía y fatiga. Las pruebas reunidas hasta ahora no permiten deducir que el pentóxido de vanadio cause un envenenamiento general, aunque sí se sabe que el vanadio es absorbido en el torrente sanguíneo. El tratamiento del envenenamiento de vanadio es generalmente sintomático, ya que la recuperación se produce a los pocos días o semanas de que el obrero deje de estar expuesto.

Las medidas de control deberían encaminarse a mantener la concentración por debajo de la norma de higiene industrial de $0,5 \text{ mg/m}^3$ cuando exista una exposición habitual.

Dióxido de azufre. En las plantas de contacto se escapa algo de dióxido de azufre entre los efluentes de la chimenea. De no producirse alguna fuga, el dióxido de azufre no suele detectarse en las demás partes de la planta. El control del escape del dióxido de azufre es generalmente un problema que suele superarse mediante buenos métodos de funcionamiento y mantenimiento. El dióxido de azufre es un gas incoloro que posee un olor característico y una fuerte acción irritante en los ojos, nariz, garganta y parte superior del conducto respiratorio. Una concentración de 3-5 ppm se advierte fácilmente y una de 8-12 ppm causa irritación en la nariz y la garganta. A 20 ppm provoca toses y la irritación de los ojos. Las concentraciones superiores son altamente irritantes, como para no aceptar la exposición voluntariamente.

La exposición repetida durante largos períodos a concentraciones del orden de 30 ppm pueden dar lugar a un aumento de la nasofaringitis, alteración del sentido del olfato y del gusto, elevada acidez urinaria, aumento de la fatiga y cortedad de aliento durante el ejercicio. Aunque puede prorrogar la duración de un resfriado, no aumenta sin embargo la frecuencia de éstos.

Si se mantienen las concentraciones de dióxido de azufre a niveles que no sean molestos se impedirá con ello el perjuicio a la salud. La norma de higiene laboral para una exposición diaria repetida es de 10 ppm. Las personas que hayan estado expuestas a concentraciones desusadamente altas deben someterse al cuidado médico y ser mantenidas en observación durante varios días.

Debería disponerse de dispositivos respiratorios adecuados para entrar en las zonas en que pueda acumularse una elevada concentración y para los casos de emergencia.

Arsénico. No se prevén peligros importantes derivados de los compuestos de arsénico ya sea en estado sólido o líquido. El mayor posible peligro es el correspondiente a la formación de arsenamina. La generación de hidrógeno naciente en presencia de arsénico es la causa más corriente de la formación de aquel gas. Los elementos que dan lugar a la formación de arsenamina-ácido, arsénico y hierro pueden hallarse presentes en la planta de ácido sulfúrico.

La arsenamina se describe generalmente como un gas que tiene un molesto olor a ajos. Una exposición de 30 minutos a una concentración de 250 ppm puede ser mortal; una concentración de 16-60 ppm se considera peligrosa para exposiciones de media a una hora. Suele aceptarse que una concentración de 1 ppm es la máxima permisible para exposiciones repetidas durante un largo período de tiempo, pero recientemente la Conferencia Americana de Higienistas Laborales Estatales ha adoptado el valor de 0,05 ppm.

La arsenamina es una sustancia especialmente peligrosa por su falta de propiedades que permitan advertirla a concentraciones que pueden producir un envenenamiento mortal y de ahí que cuando exista la posibilidad de exposición deben observarse rigurosas medidas de precaución y supervisión. Al observarse los primeros síntomas de envenenamiento, la persona debe someterse inmediatamente bajo cuidado médico.

Pueden utilizarse papeles de prueba o el análisis del aire para examinar las zonas en las que se sospecha la presencia de arsenamina. La posibilidad de la presencia de dicho gas en Eucaliptus es mínima. Puede ocurrir únicamente durante los trabajos de mantenimiento, por ejemplo, cuando se sueldan recipientes sucios en presencia de ácido sulfúrico. El mejor remedio es lavar los recipientes antes con agua para soldarlos en limpio.

Productos finales

Trióxido de azufre y ácido sulfúrico

Los peligros correspondientes al manejo del trióxido de azufre y el ácido sulfúrico son de dos tipos: efectos en la piel y ojos e irritación del conducto respiratorio.

El contacto directo del ácido sulfúrico concentrado sobre la piel destruye rápidamente los tejidos y puede ocasionar graves quemaduras, acompañadas de un desmayo. El contacto repetido con soluciones diluidas puede producir dermatitis. El contacto en los ojos puede dar lugar a graves daños, como la pérdida de la vista.

El vapor o niebla de ácido sulfúrico y la niebla del trióxido de azufre son irritantes para las membranas mucosas de los ojos y el conducto respiratorio. Los vapores de soluciones ácidas por debajo de 98,3% y a temperaturas inferiores a 100°C no tienen importancia higiénica, debido a la baja presión del vapor. Las operaciones mecánicas o las soluciones hirvientes, sin embargo, pueden dar lugar a la diseminación de partículas en el aire. Las partículas mayores provocadas por acciones mecánicas son atrapadas en el conducto respiratorio superior y normalmente producen pocos daños. Las partículas más pequeñas, de dimensiones 1-5 μ pueden llegar al tejido pulmonar y producir heridas más graves. La exposición repetida puede dar lugar a toses, inflamación crónica y bronquitis crónica. La exposición aguda puede provocar pulmonía. También hay indicios de que desgasta los dientes.

La concentración atmosférica máxima recomendada es de 1 mm/m³ de aire.

En casos de contacto con el ácido sulfúrico, el tratamiento más importante es el lavado inmediato con grandes cantidades de agua. No deben utilizarse sustancias neutralizantes hasta que se haya lavado debidamente el ácido con agua ya que el calor de la neutralización puede agravar la quemadura. Deberían disponerse óculas de seguridad y surtidores para lavar los ojos, que deberían inspeccionarse a intervalos para asegurar su buen funcionamiento.

Entre las medidas preventivas figura un reconocimiento médico antes de la contratación, la educación de los empleados, control de ingeniería, ropas protectoras y supervisión. Los trabajadores deberían llevar guantes de goma y gafas protectoras por lo menos cuando trabajen con el ácido sulfúrico. Deberían ser instruidos en cuanto a los posibles peligros, los procedimientos preventivos y de control y el debido uso del equipo protector. Debe disponerse la ventilación adecuada donde sea necesaria y el equipo debe mantenerse en buenas condiciones de funcionamiento. Debe procederse a una supervisión rigurosa en todo momento.

Los operadores y personal de mantenimiento debidamente instruidos llevan capuchas y protectores corporales contra el ácido además de las protecciones usuales, siempre que exista la posibilidad de que se produzca un derrame de ácido. Tales ocasiones pueden ser la desconexión de una tubería de ácido que había estado en servicio y que se suponía totalmente lavada, seca y purgada. Muchos accidentes se han producido de esta forma por no adoptarse las más elementales precauciones.

El ácido sulfúrico no es inflamable, pero las concentraciones superiores pueden causar la ignición por contacto con materiales combustibles. El ácido sulfúrico puede generar hidrógeno dentro de un barril, el depósito de un coche o un depósito de almacenamiento de metal.

Debido al carácter altamente explosivo de las mezclas del hidrógeno con el aire, no debieran permitirse luces abiertas o la formación de centellas cerca de los contenedores de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico derramado debería removerse inmediatamente inundando la zona contaminada con grandes cantidades de agua. Es un axioma de la industria, que el ácido sulfúrico nunca debería almacenarse o manejarse cuando no se disponga de una reserva de agua para el lavado. Los vestigios restantes de ácido deberían neutralizarse con cenizas de soda o cal.

Seguridad del operador de la fábrica de ácido sulfúrico

El operador de una planta de ácido sulfúrico realiza el proceso, lleva registros, dirige el trabajo de su ayudante, forma y ayuda a los subordinados y es responsable de la seguridad. También dirige la descarga del azufre y la carga, almacenamiento y transferencia de ácido sulfúrico. Es también responsable del buen funcionamiento de todo el equipo y de la administración general, y realiza las tareas conexas que sean necesarias.

El operador está expuesto a los peligros creados por el contacto con los materiales y el equipo de la planta. Está expuesto a recibir heridas en los ojos, quemaduras y lesiones. Atendiendo a su seguridad personal, los operadores deben llevar protección de ojos del tipo necesario contra una exposición inmediata, así como ropas protectoras entre las que figuran chaquetas, pantalones, galochas de goma, guantes, respiradores y casco.

El ayudante del operador de la planta de ácido sulfúrico toma las instrucciones de éste, le ayuda en el buen funcionamiento de la instalación así como en el caso de una avería y desempeña sus labores de conformidad con los métodos recomendados. Está expuesto a los mismos peligros que el operador, y al igual que éste debe llevar frecuentemente protección de ojos y el mismo tipo de ropas protectoras.

Equipo protector y de seguridad y ropas protectoras

Algunas plantas de ácido sulfúrico dan carácter formal a la entrega de equipo protector y de seguridad y a las ropas protectoras para mejor garantizar su empleo. Normalmente este equipo y ropas se guarda en un almacén especial y se entrega al empleado contra presentación de un billete especial. Muchas veces el supervisor del empleado controla la emisión de dicho billete que a veces lleva la firma del empleado. Las plantas que tienen un departamento de seguridad, normalmente instruyen a los supervisores sobre las medidas que deben tomar a este respecto. Dicho departamento de seguridad normalmente puede tomar la iniciativa en la modificación de los procedimientos o el tipo de equipo y ropas utilizado.

Cada supervisor está encargado de que los empleados estén debidamente protegidos con el equipo y ropas consiguientes y de que aquél las utiliza debidamente. Frecuentemente, el primer equipo y ropas entregadas se estropea sin posibilidad de arreglo y a veces se pierde. Cualquiera que sea el motivo, es necesario sustituir aquellos artículos para que el empleado esté siempre debidamente protegido. Muchas compañías hacen responsable al empleado del equipo y ropas que se le entregan. Cuando aquél es transferido a otro departamento, puede ser que tenga que devolver el equipo. En todo caso, el terminar de trabajar para la compañía exige normalmente la devolución del equipo y ropas al departamento de seguridad antes de que el departamento de nóminas pueda entregar al empleado la liquidación final de su salario. El equipo que normalmente se tiene para la seguridad y protección de los empleados se indica en el cuadro siguiente.

Cuadro 1

Equipo de seguridad y protector y ropas protectoras que pueden ser necesarios en las distintas etapas de la fabricación del ácido sulfúrico

Cascos y accesorios	Protectores de las orejas
Pantallas blancas o de colores para proteger el rostro	Cascos de soldador
Gafas contra quemaduras	Monogafas
Gafas a prueba de ácido	Gafas contra esquirlas
Gafas contra esquirlas	Gafas antifogonazos para el ayudante
Manoplas de cuero	Botines de cuero
Delantales de cuero	Mitones de soldador
Guantes de soldador	Guantes de tejido de acero
Guantes para el ayudante del soldador	Guantes de goma
Guantes de amianto	Cinturones de seguridad para electricistas
Guantes de goma dieléctricos y guantes de cuero	Cinturones de seguridad para montadores
Bolsa para electrodos	Galochas de goma para ácido
Pantalones de goma para ácido	Chaquetas de goma para ácido
Delantales de goma para ácido	Respiradores para ácido sulfúrico con cartuchos
Respiradores con cartuchos	Caretas con alimentación de aire
Respiradores de vapores de metal con cartuchos	

El departamento de producción es normalmente responsable de la seguridad de todo el trabajo realizado en la zona bajo su supervisión. El permiso de trabajo en condiciones de seguridad lo emite el supervisor encargado de la zona donde se realiza el trabajo. El supervisor que emite el permiso debe examinar el equipo para ver si lleva las etiquetas y cierres necesarios, que no hay peligro por la presencia de materiales, que tampoco es necesario realizar pruebas de gas porque se han seguido los procedimientos para dichas pruebas y que en su opinión la realización del trabajo es segura.

Seguridad del operario de mantenimiento en la planta de ácido sulfúrico

Los obreros dedicados al mantenimiento, debido a la diversidad de sus tareas, deben observar un mayor número de normas de seguridad, algunas de las cuales se indican a continuación.

Huelga decir que para cada trabajo deben utilizarse las herramientas apropiadas. Cada trabajador debe llevar las debidas gafas de seguridad al trabajar en las proximidades de las tuberías de ácido, válvulas, depósitos, bombas o líquido caliente. Debería llevar una bata, botas de goma, casco, capucha con visera y guantes, siempre que sea necesario. Para el corte con acetileno, soldadura, fresado, perforación de cemento y el corte de suelos y paredes debe utilizar las gafas correspondientes de seguridad. Los cilindros de acetileno y oxígeno deben almacenarse en lugar seguro. Las válvulas deben cerrarse cuando no se utiliza el cilindro. El regulador del cilindro no debería tener presión en el diafragma, excepto cuando se utilice. Los cilindros de gas deben transportarse de forma que no se caigan.

Hay que disponer extintores de incendios en los lugares en que se realiza el corte o soldadura. Las escaleras utilizadas deben estar debidamente aseguradas o sostenidas por un hombre.

Los ayudantes y auxiliares deben ser instruidos en los procedimientos y exigencias de esos trabajos. Los demás operarios deben estar protegidos mediante pantallas, barreras, carteles de advertencia, etc. Los encargados y operadores deben cooperar con los trabajadores de mantenimiento en combatir los peligros.

Los trabajadores no deberían sacudirse la suciedad o el polvo de sus ropas con oxígeno ni aire comprimido. Antes de reparar o ajustar todo aparato debe cerrarse el interruptor. Antes de entrar en todo depósito o espacio cerrado deben pedir al supervisor que compruebe personalmente si ha sido purgado y limpiado y no ofrece peligro.

Durante el trabajo de mantenimiento en un tanque éste debe estar ventilado. Deberían desconectarse todas las líneas. Los sopletes para la soldadura o corte deben permanecer en el tanque únicamente durante el momento que se necesiten. En el interior del tanque y en los lugares peligrosos deben utilizarse lámparas de mano de un tipo aprobado. Un hombre debería permanecer fuera en todo momento a fin de poder ayudar rápidamente a su compañero en caso necesario. Debería disponerse de material de socorro y los ejercicios de salvamento de los operarios que trabajan en el tanque son esenciales.

La regla esencial del trabajo de mantenimiento en una planta de ácido sulfúrico es nunca realizar un trabajo que exija calor en ningún depósito, tubería o equipo que haya contenido ácido sulfúrico sin haberlo vaciado, purgado y realizado una prueba de gas.

Ningún trabajador debería entrar en una caldera a no ser que todos los contactos y válvulas estén cerrados. Las herramientas eléctricas utilizadas deben tener puesta a tierra. Se debe rebajar la presión de todas las tuberías, depósito o contenedor que haya de repararse y cerrar las válvulas que puedan afectar su trabajo antes de iniciarlo.

Capítulo 8

Instrucciones para los lugares de trabajo

Las precauciones de seguridad que deben adoptarse en una fábrica de ácido sulfúrico varían según el tipo de trabajo que deba realizarse.

Plataforma del horno y zona de insuflación

En la plataforma del horno y en la zona de insuflación debe llevarse un impermeable, visera y gafas de seguridad. El paso del azufre fundido al quemador debería estar conectado con el insuflador de forma que el paso se corte cuando la presión del aire descienda por debajo de un valor determinado. Debe purgarse el sistema con aire durante un minuto después de haber cortado el azufre. El sistema debería ser purgado durante cinco minutos antes de dar el gas. Si la llama piloto y el quemador se apagan, debe purgarse el sistema con aire durante un minuto antes de volver a encender el gasóleo.

Descarga del azufre y zona del foso

El camión que descarga el azufre debe tener los frenos puestos. Para el manejo del azufre seco hay que llevar gafas de seguridad. También hay que llevar gafas y guantes de seguridad al abrir el filtro del azufre. Hay que evitar la producción de centellas cuando se trabaja alrededor del azufre. Fumar está prohibido.

Zonas de almacenamiento, carga y transferencia

En las zonas de almacenamiento, carga y transferencia deben mantenerse medidas de seguridad en todo momento. Deben comprobarse todos los drenados antes de poner las bombas en servicio. Las ruedas del camión deben estar trabadas antes de conectar la línea de carga. Antes de iniciar la carga el camión tanque debe colocar un letrero de CONECTADO. Al descargar los camiones tanque los operarios deben llevar viseras, guantes, capuchas, botas e impermeable. Para la carga y descarga de los tanques de ácido agotado debería disponerse de máscaras de gas universales. Las duchas deben encontrarse en buen estado de funcionamiento. Los derrames de ácido deben lavarse inmediatamente con agua. Todas las quemaduras de ácido deben lavarse inmediatamente con grandes cantidades de agua.

Torres de ácido y zonas de enfriamiento del ácido

En las torres de ácido y las zonas de enfriamiento del ácido deberían llevarse gafas y guantes de seguridad. Antes de poner en marcha las bombas debe haber un nivel de ácido adecuado en las torres. Antes de llenar las torres hay que comprobar los drenajes. No hay que entrar en el enfriador cuando circula el ácido por las torres. En la zona del enfriador hay que llevar gafas de seguridad, guantes de goma y ropas protectoras. Las duchas de seguridad deben comprobarse con frecuencia. Los derrames de ácido deben

lavarse con agua. Todas las quemaduras de ácido deben lavarse inmediatamente con grandes cantidades de agua.

Las instrucciones técnicas para los lugares de trabajo se presentan en el capítulo 5 "Control de funcionamiento de la planta" y en la sección 5.2 "Control de funcionamiento de la planta mediante la observación personal".

Capítulo 9

Instrucciones para el jefe de turno

El jefe de turno responde ante el jefe de producción del trabajo realizado por su turno. También es responsable de las faltas de su personal y está autorizado a actuar en consonancia.

El personal bajo sus órdenes son el controlador de las calderas, los dos operadores de su turno y los operarios de su turno cuando el jefe de día no se encuentra presente o cuando el asunto afecta a los servicios generales.

El jefe de turno informará al jefe de producción de lo que ocurre en su turno tanto si es favorable como negativo.

Llevará un diario del funcionamiento de la planta, que comprenderá los parámetros que deben cumplirse, el consumo de materias primas y demás materiales, así como los accesorios necesarios para el proceso.

También está facultado para pedir análisis del proceso al laboratorio y puede pedirle a éste que tome muestras del proceso a su discreción.

Forma parte igualmente de sus obligaciones llevar a cabo análisis de los gases por el método "Reich".

Estos análisis ha de poder llevarlos a cabo sin la ayuda del laborante.

En casos de urgencia, puede llevar directamente al técnico o trabajador de mantenimiento.

El jefe de turno debe informar al jefe de producción acerca de la disciplina de su turno.

El jefe de turno tiene que comprobar el funcionamiento de la planta, especialmente el horno de azufre y el convertidor.

Capítulo 10

Directrices generales de mantenimiento

Iniciamos esta sección sobre el mantenimiento con un examen de los materiales de construcción de las plantas de ácido sulfúrico en general. Los materiales en Eucalyptus se ajustan a las mismas normas.

10.1. Materiales de construcción

Fundición del azufre

Los fosos para la fundición del azufre están contruidos generalmente de hormigón armado. La parte superior de las paredes está frecuentemente revestida de ladrillo a prueba de ácido para protegerlas del ácido que pueda formarse en la superficie cuando el azufre fundido no está neutralizado. Los serpentines de calentamiento y fundición son de acero especial.

El horno de fusión está cubierto con planchas de acero o aluminio. Estas cubiertas generalmente se oxidan, especialmente si están a la intemperie, debido al ácido que contiene el azufre o el que se forma con el azufre y la humedad de la cubierta. Las cubiertas de aluminio resisten la corrosión mejor que el acero, excepto cuando se ha producido corrosión electrolítica debido al contacto con el acero. Si se mantiene el compartimento de fundición lleno de azufre fundido ello protege los serpentines contra la corrosión. El azufre que contiene ácido aumenta la corrosión de los serpentines.

El azufre contaminado da lugar a un mayor trabajo de mantenimiento y limpieza del foso. Si se maneja azufre limpio y seco, la corrosión es lenta, las reparaciones son escasas y pueden pasar varios años antes de que sea necesario proceder a una limpieza. La bomba se utiliza para eliminar todo el azufre fundido que sea posible al principio de la operación de limpieza. El líquido remanente se drena. Para una superficie pequeña, se agrega agua a la mezcla caliente de azufre e impurezas para formar una masa que después se saca con la pala. En determinadas zonas puede realizarse la limpieza de esta forma. De lo contrario, si el sedimento es duro, tendrá que romperse a martillazos.

En las plantas ordinarias que queman azufre, el dióxido y el trióxido de azufre suelen ser secos y el acero al carbono suele dar buenos resultados como material de construcción desde el punto de vista de la corrosión.

Horno de azufre

El horno de azufre es un cilindro de acero revestido de ladrillo refractario y aislante para las elevadas temperaturas que debe soportar. El horno suele estar protegido por un tejado de manera que la lluvia y la nieve no causen tensiones innecesarias.

Caldera de recuperación térmica

Las calderas están construidas con tubos, cilindros, etc., de acero, y están diseñadas y fabricadas según los códigos aplicables a ellas.

Los tubos para los gases calientes en el horno y en la caldera son de acero suave. Están también aislados interna o externamente, según las temperaturas de funcionamiento.

Convertidor y termocambiadores

Son de acero al carbono. Algunos fabricantes utilizan excepcionalmente para una sección pequeña una aleación de acero en la parte superior del convertidor donde la temperatura alcanza los 600°C. Por el mismo motivo la sección alrededor del primer lecho muchas veces está revestida con ladrillo refractario. La parrilla del convertidor que sostiene el catalizador está fabricada muchas veces de hierro fundido, resistente al calor, para soportar las temperaturas a que está sometida.

Según el tipo del convertidor, los economizadores o calderas secundarias están construidos con haces de tubos de acero suave, que generalmente están aislados externamente a los efectos protectores.

Tuberías de ácido y torres de ácido

En el sistema de circulación de ácido todas las tuberías son de hierro fundido y a ser posible resistente al ácido. Normalmente se trata de tubería fundida centrífugamente y con bridas atornilladas.

Las torres de ácido y los tanques de bombeo son de acero al carbono, revestidos con cuatro pulgadas de ladrillo a prueba de ácido colocado con cemento también a prueba de ácido.

Las bombas de ácido están provistas de ejes de aleación e impulsores de hierro fundido. Todas las válvulas del sistema del ácido son de aleación (por ejemplo Carpenter 20 o una aleación parecida) y con juntas y obturadores de teflón. El sistema de distribución del ácido dentro de las torres es de fundición resistente al ácido.

Los enfriadores de ácido son muchas veces de fundición gris del tipo fabricado por la National U.S. Radiator Corporation.

En las plantas más antiguas se utiliza tubería, codos de retorno y otros acoplamientos de fundición gris. Las chimeneas de los enfriadores del ácido están situadas en un depósito de cemento debajo de los enfriadores. El agua de refrigeración se distribuye por la parte superior del enfriador, se recoge en el depósito y se bombea ya sea a la torre de enfriamiento para volver a circular o se utiliza como agua caliente pero sin contaminar. Este tipo de enfriadores se conoce por el nombre de enfriadores en cascada y en alemán "Rieselkühler".

Los enfriadores de cascada indicados son ya anticuados en la actualidad (1986). Hoy día se utilizan los enfriadores de placas (fabricados por ejemplo por Alfa-Laval de Suecia) o termocambiadores tubulares (fabricados por ejemplo por Chemetics, Ontario, Canadá).

10.2. Mantenimiento preventivo

Una de las características del mantenimiento moderno es el llamado mantenimiento preventivo, es decir, tratar de descubrir los fallos antes de que se produzcan. La base de ello son las estadísticas. A lo largo de los años se han llevado estadísticas acerca de las reparaciones necesarias con indicación de los lugares, motivos, períodos, etc., de forma que se conoce la probabilidad de que deba procederse a una nueva reparación. Ello significa que cuando debería producirse una avería estadísticamente, se comprueba el funcionamiento y el estado del equipo. De no existir estadísticas de este tipo deberían iniciarse en la forma descrita anteriormente.

El mantenimiento preventivo supone la estrecha vigilancia del proceso de funcionamiento del equipo. Los fallos surgidos deben notificarse inmediatamente a la sección de mantenimiento. Hay que indicar igualmente la urgencia de la reparación.

La urgencia puede clasificarse en tres grupos

1. muy urgente, reparación inmediata
2. moderadamente urgente
3. no hay prisa.

En general, los principales motivos para proceder a una reparación en una planta de ácido sulfúrico son las fugas en las tuberías de ácido o en las tuberías de gas, que corresponden a la urgencia de la clase 1. Si se deja que la fuga continúe, ésta se hará mayor y al mismo tiempo será más difícil de reparar.

Pertenecen a la primera clase también las averías de los instrumentos y de la instalación eléctrica. Por ello, los técnicos en instrumentos y electricidad deberían proceder a una ronda de inspección de la instalación todas las mañanas.

Este tipo de inspección entra también dentro de las obligaciones del jefe de turno y del técnico supervisor. El empleado encargado de la presión de las calderas hará lo propio. La misma supervisión y labor informadora corresponden también a cada operador en su respectivo lugar de trabajo.