

Distr.  
RESTRINGIDA

LC/R.1248/Rev.1  
14 de mayo de 1993

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

CEPAL

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**EMPRESAS LIDERES EN DESARROLLO, APLICACION Y DIFUSION DE  
TECNOLOGIAS AMBIENTALMENTE RACIONALES EN AMERICA LATINA:  
EL CASO DEL DESARROLLO DE LA FABRICACION DE ANHIDRIDO  
SULFUROSO POR LA EMPRESA QUIMETAL, CHILE**

Este informe fue preparado por el señor Hans Hanke A., Gerente General de QUIMETAL en colaboración con la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL. El informe es parte de un trabajo que la CEPAL realiza en la región en el campo del desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales. En el caso de Chile, el trabajo es copatrocinado por la Sociedad de Fomento Fabril, SOFOFA, y la Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmeccánicas, ASIMET. El contenido del informe que está destinado a ser publicado junto con otros documentos similares no debe ser divulgado ni hecho accesible a terceros. El informe no ha sido sometido a revisión editorial y las opiniones expresadas en él son de la exclusiva responsabilidad de la empresa mencionada y pueden no coincidir con las de la CEPAL.

93-5-570

## Indice

	<u>Página</u>
I. LA PRESENTACIÓN DEL CASO .....	1
II. LA HISTORIA DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA EMPRESA .....	2
1. Presentación de la empresa innovadora .....	2
2. El origen del proyecto de la nueva planta de anhídrido sulfuroso .....	2
3. El proceso de fabricación y características técnico-económicas del proyecto .....	3
4. Protección del medio ambiente y prevención contra accidentes .....	6
5. Gestión estratégica y tecnológica .....	7
ANEXO .....	10

## I. LA PRESENTACIÓN DEL CASO<sup>1</sup>

El presente caso es la historia del diseño y realización de una planta de anhídrido sulfuroso en Chile. Como es sabido, esta sustancia química es uno de los contaminantes más comunes del aire y la emisión proviene, en gran parte, de los procesos de combustión industrial y vehicular así como de los procesos metalúrgicos. Por otra parte, el anhídrido sulfuroso es una sustancia química básica que se utiliza en numerosos procesos industriales y de conservación de alimentos. En particular, se usa en la fabricación de celulosa para neutralizar el blanqueo con cloro y de esta manera evitar la pérdida de blancura del producto por la acción del tiempo. Un efecto secundario del anhídrido sulfuroso en este proceso pudiera consistir en una reducción de la dioxina contenida en la celulosa.

La firma Lurgi de Alemania proporcionó a QUIMETAL la ingeniería básica para el proyecto. A partir de estos antecedentes QUIMETAL desarrolló el proyecto con su propio equipo técnico. Con el objeto de adaptar el concepto original a las circunstancias particulares del proyecto, se introdujeron algunas modificaciones que están protegidas por secreto industrial. QUIMETAL hizo valer ante la Lurgi el aporte que hizo al desarrollo de la tecnología del proceso y esta última reconoció el hecho sugiriendo la posibilidad de actuar conjuntamente con QUIMETAL en futuros proyectos de otras empresas. La nueva planta industrial inició su producción en marzo de 1992. En los 9 primeros meses de operación -hasta la fecha de redacción del informe sobre el caso-, la planta respondió con gran flexibilidad a cambios que se produjeron inesperadamente en la demanda de los distintos productos finales. Este desempeño es ciertamente un testimonio de la calidad de la tecnología desarrollada.

El lugar donde fue instalada la nueva planta industrial está rodeado de plantaciones de pinos. Por lo tanto, en el diseño del proceso se adoptaron una serie de precauciones especiales para proteger el medio ambiente y se eligieron algunos equipos específicos para la limpieza de los gases de escape.

El éxito de este caso puede ser atribuido a la influencia de diversos factores. En primer lugar, uno de los factores decisivos fue el surgimiento de una importante demanda del producto principal del proyecto, el anhídrido sulfuroso, como consecuencia de la realización de grandes inversiones en la industria de la celulosa y el papel del país. Otro factor de éxito radicó, por cierto, en la estrategia de negocios de la empresa que se caracteriza por un fuerte componente de innovación basada en una utilización de su propia capacidad tecnológica. Por último podría mencionarse el hecho que la empresa tuvo una dilatada experiencia tanto en la fabricación y distribución del anhídrido sulfuroso como en el rubro de productos químicos inorgánicos en general.

---

<sup>1</sup> Nota de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL

## II. LA HISTORIA DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA EMPRESA<sup>2</sup>

### 1. Presentación de la empresa innovadora

La empresa inició sus operaciones en 1951 con una sencilla planta formuladora de pesticidas. Ya desde los años cuarenta existía una instalación rudimentaria para la fabricación de sulfato de cobre. Desarrollando y perfeccionando tecnologías de producción, QUIMETAL logró ubicarse paulatinamente en una sólida posición en el complejo campo de los productos químicos. Actualmente abastece importantes distribuidores internacionales con distintas formulaciones de fungicidas cúpricos, de azufre y otros productos industriales.

La apertura comercial de Chile que ocasionó momentos difíciles a la empresa requirió un gran esfuerzo de adaptación que finalmente le permitió adecuarse en un marco de competencia internacional con productos de calidad y una nueva gestión comercial nacional y externa con mayor dinámica, mayor penetración de mercado y mayor cooperación técnica con el cliente. El resultado de los ejercicios de los últimos años revela que el desarrollo de las actividades industriales, sobre todo en relación a la diversificación de productos, fue acertado.

La red de clientes abarca en la actualidad diferentes sectores industriales de prácticamente todos los continentes. La empresa abastece a fabricantes de pigmentos con sales cúpricas y molibdatos, al sector agrícola con fungicidas cúpricos, con fungicidas en base a azufre micronizado, con desinfectantes de semilla y con preservantes de uva de mesa (generador de SO<sub>2</sub>); al sector pecuario, con sales cúpricas como aditivos de dietas alimenticias; a empresas forestales entrega preservantes de madera tipo CCA y CCB, y sales antimancha, y a la industria del vidrio y de cosméticos, selenio metálico.

En el año 1991, las exportaciones alcanzaron un valor de 7.3 millones de dólares y las ventas en el país, 3.8 millones de dólares. Las ventas totales alcanzaron así 11.1 millones de dólares.

Prueba del nivel fabril alcanzado es la asociación paritaria con el destacado grupo Hickson Timber Products Ltd., Inglaterra, sociedad líder en el mercado de preservantes de madera. Con esta sociedad se formó el joint-venture Hickson-Quimetal Latinoamerica Ltda.

La consolidación en 1991 del proyecto MININCO es otro fruto del empuje empresarial de QUIMETAL. En respuesta al desarrollo forestal chileno, esta inversión permitió construir una planta de generación de 4 200 toneladas anuales de anhídrido sulfuroso para el directo abastecimiento de las empresas productoras de celulosa.

### 2. El origen del proyecto de la nueva planta de anhídrido sulfuroso

A fines de los años ochenta maduraron dos grandes proyectos de fabricación de celulosa en el sur de Chile: Celulosa del Pacífico S.A., CELPAC, en Mininco y Forestal Santa Fé, en Nacimiento.

---

<sup>2</sup> Informe de la empresa QUIMETAL.

Ambas plantas iban a requerir grandes cantidades de anhídrido sulfuroso para sus procesos de fabricación. La mayoría de las nuevas plantas de celulosa que se construyen actualmente en el mundo funcionan sobre la base del proceso del sulfato, que permite la recirculación de productos químicos en el proceso, evitando así la descarga de productos orgánicos y anorgánicos al ambiente. El proceso de sulfato requiere anhídrido sulfuroso como un insumo en el proceso del blanqueo de la celulosa.

En 1989, CELPAC hizo los primeros contactos con QUIMETAL y las negociaciones que se entablaron a raíz de estas conversaciones culminaron con la firma de un contrato de suministro de largo plazo. Paralelamente se llevaron adelante negociaciones con Forestal Santa Fé, concluyéndose un convenio similar.

En 1990 se inició la construcción de la planta de anhídrido sulfuroso en Mininco, una localidad situada 580 km al sur de Santiago, en terrenos contiguos al lugar de la planta de CELPAC. La instalación en este lugar se debió a que la planta de CELPAC iba a ser el mayor consumidor. El anhídrido sulfuroso se transportaría a esta última planta en solución acuosa por tubería. En cambio, la planta de Forestal Santa Fé, por estar más apartada, iba a recibir el anhídrido sulfuroso en forma licuada mediante camiones cisternas. Por último, la planta de Mininco fue concebida para producir también bisulfito de sodio.

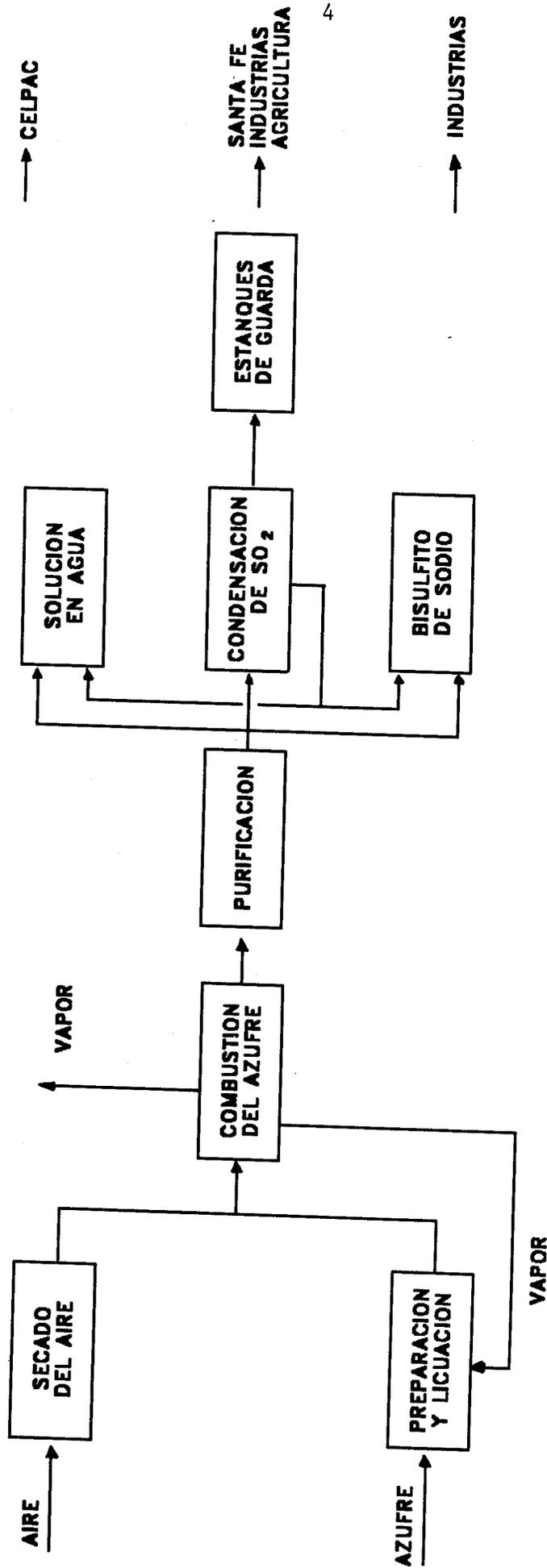
La planta se puso en funcionamiento en marzo del año 1992. Durante los 9 primeros meses de operación la planta respondió con gran flexibilidad a las fluctuaciones de la demanda. La planta de Forestal Santa Fé sobrepasó en algunos meses el consumo proyectado. No obstante fue posible satisfacer esta sobredemanda gracias a que algunas instalaciones, entre ellas las de frío, pudieron funcionar muy por encima de su capacidad de diseño.

### 3. El proceso de fabricación y características técnico-económicas del proyecto

Entre los distintos procesos básicos que existen para la fabricación de anhídrido sulfuroso se optó por el más limpio. Este consiste fundamentalmente en un proceso de oxidación de azufre. El gráfico 1 muestra un esquema simplificado del proceso y el gráfico 2 un diagrama de flujos de la planta de Mininco. Esta planta fue diseñada para una producción total de 4 200 toneladas por año de anhídrido sulfuroso en forma de gas con una concentración de 16 a 18%. Este gas constituye el insumo de los 3 productos finales de la planta a razón de las fracciones siguientes: 2 075 toneladas por año para fabricar solución acuosa de anhídrido sulfuroso, 1 300 toneladas por año para producir anhídrido sulfuroso licuado y 825 toneladas por año para elaborar bisulfito de sodio. La materia prima principal es azufre en colpas, que, una vez licuado, es quemado en un horno. El aire de combustión es previamente secado para eliminar toda traza de humedad.

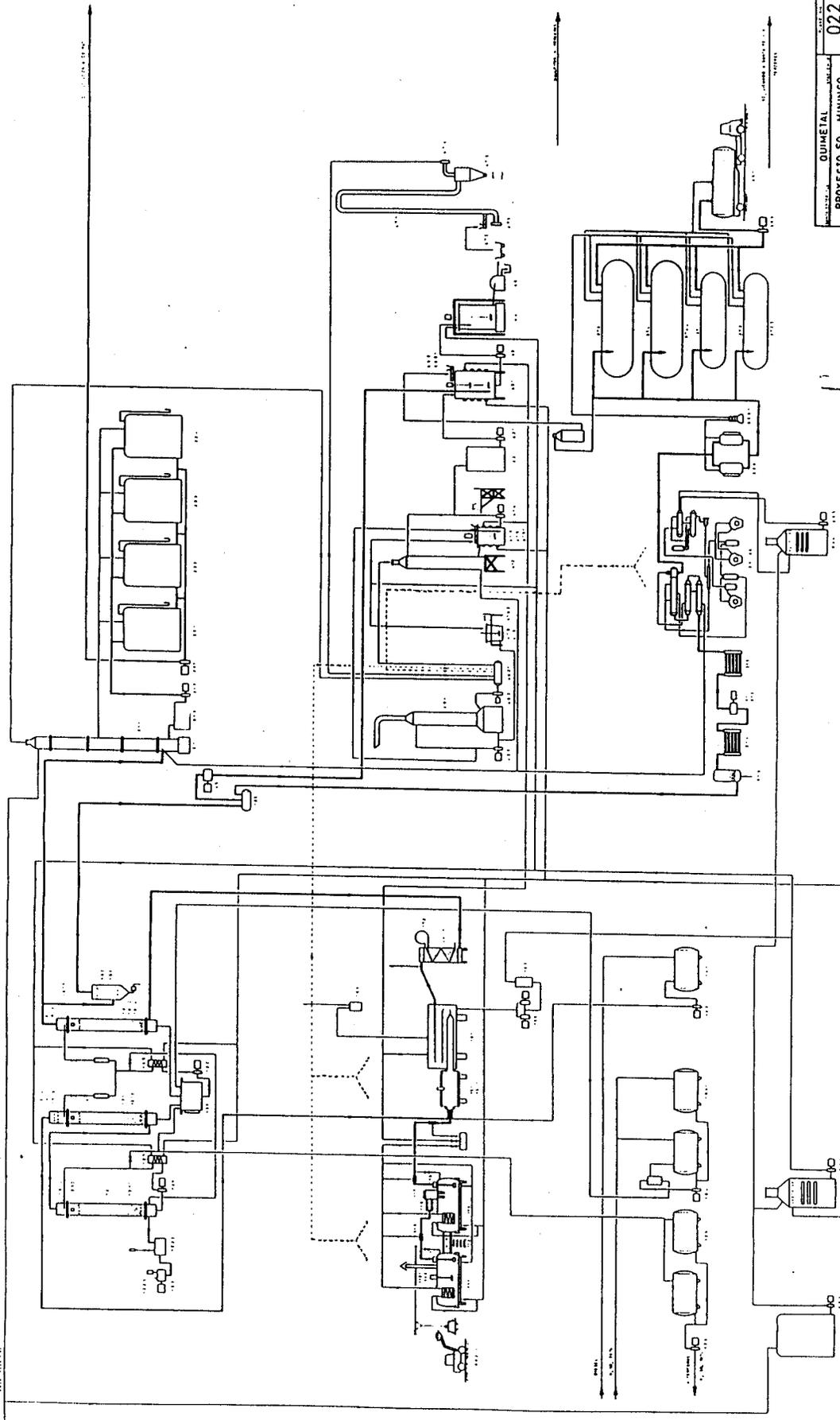
Uno de los equipos centrales del proceso es el quemador que efectúa la combustión entre el azufre y el aire. El producto es un gas compuesto de 18%  $\text{SO}_2$ , 79.5%  $\text{N}_2$  y un resto de 2.5%  $\text{O}_2$ . La combustión es altamente exotérmica y el gas alcanza una temperatura de 1500°C. En una caldera de diseño especial se enfría el gas y se genera vapor de 7 atmósferas. A la salida de la caldera, el gas atraviesa un intercambiador de calor y luego entra a una torre de absorción que elimina las trazas de  $\text{SO}_3$ . Desde allí el gas se envía a las distintas secciones de la planta en que se elaboran los productos finales.

Gráfico 1  
 ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA PRODUCCION DE ANHIDRIDO SULFUROSO Y BISULFITO DE SODIO  
 EN LA PLANTA DE MININCO



Fuente: QUIMETAL Ltda C.P.A., Chile.

Gráfico 2  
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE ANHIDRIDO SULFUROSO DE MININCO



PROYECTO: QUIMETAL		022
PROYECTO: SO <sub>2</sub> - MININCO		
DISEÑO: J. P. GARCIA		
REVISOR: J. P. GARCIA		
AUTOR: J. P. GARCIA		
FECHA: 1960		
Escala: 1/2"		
Hoja: 1		
Total: 1		

El anhídrido sulfuroso en solución acuosa se elabora en una torre en que el gas pasa en contracorriente el agua de proceso. Desde allí se envía a una batería de estanques de guarda y luego se bombea a través de una cañería a la fábrica Celulosa del Pacífico. El resto del gas que escapa de la torre de solución consiste básicamente en nitrógeno y algo de oxígeno. Como la concentración de anhídrido sulfuroso es normalmente inferior a 200 ppm, el gas residual podría ser liberado directamente a la atmósfera. Sin embargo, previendo una posible fluctuación de esta concentración como consecuencia de un funcionamiento momentáneamente anormal del proceso, el gas de escape es tratado en una torre de lavado con carbonato de sodio que absorbe cualquier resto de anhídrido sulfuroso.

El anhídrido sulfuroso licuado se obtiene en la planta de frío que funciona a una temperatura de menos 55°C. El almacenamiento del producto se realiza en una batería de estanques de guarda a una presión de 3 a 4 atmósferas. Desde allí se transporta el producto mediante camiones cisternas a la planta de celulosa de Forestal Santa Fé y a los centros de distribución que mantiene QUIMETAL a lo largo del país.

El bisulfito de sodio se elabora en otra sección de la planta. El gas de proceso se envía primero a una solución de carbonato de sodio. Esta solución absorbe el anhídrido sulfuroso y el gas de escape podría disiparse directamente a la atmósfera. Sin embargo, como una medida de precaución, es pasado previamente también por la torre de lavado. En una segunda etapa del proceso, la solución pasa a un reactor donde se agrega más carbonato de sodio y anhídrido sulfuroso hasta formar por sobresaturación un slurry de bisulfito de sodio. Una centrífuga elimina gran parte del agua del producto que luego se somete a un proceso de secado usando el vapor de la caldera de recuperación. El producto final es un polvo seco y fino que es envasado en sacos. Estos se apilan en palets y se guardan hasta su despacho en la bodega de productos terminados.

El consumo de energía eléctrica es de 135 kWh por tonelada de anhídrido sulfuroso en solución y de 410 kWh por tonelada de anhídrido sulfuroso licuado. El consumo de agua de proceso es de 100 000 litros por tonelada de anhídrido sulfuroso en solución.

#### 4. Protección del medio ambiente y prevención contra accidentes

En principio, una industria química puede provocar situaciones de contaminación que se originan en emisión de gases o partículas, efluentes líquidos, residuos sólidos o ruidos. A continuación se describe la situación de la planta de Mininco respecto a estas posibles fuentes de contaminación. La contaminación atmosférica que originaría un escape de anhídrido sulfuroso es controlada por las operaciones de absorción y de lavado de gases. El nitrógeno que sale de la planta de lavado contiene menos de 200 ppm de anhídrido sulfuroso en circunstancias que las normas aplicadas en Chile permiten emisiones hasta 1000 ppm. A título de comparación se puede mencionar que una caldera alimentada con combustóleo No.6 puede generar una emisión de 2000 ppm de anhídrido sulfuroso.

El peligro de una contaminación por efluentes líquidos no existe porque no se generan líquidos residuales en la planta. En cuanto a residuos sólidos sólo se prevé que una cierta cantidad de azufre en colpas puede estar contaminada. Este producto será vendido a otras industrias interesadas. Por último, la planta produce algo de ruido. Como no existen poblaciones establecidas en el entorno, la protección acústica se brinda por el momento sólo al personal de la planta.

La planta de Mininco presenta algunos riesgos de accidentes que también se han tratado de minimizar mediante medidas apropiadas. Fundamentalmente estos riesgos se originan en los depósitos de anhídrido sulfuroso licuado y en solución, y en los de petróleo. El mayor riesgo presenta probablemente el almacenamiento de anhídrido sulfuroso líquido. La cantidad almacenada puede alcanzar 200 toneladas. Con el objeto de prevenir este riesgo, se decidió, en primer lugar, encargar a una empresa nacional de gran prestigio, la fabricación de los estanques de guarda. En segundo lugar, se adoptaron coeficientes de seguridad apropiados en las especificaciones del proyecto. Así, se especificó una presión de prueba de doce atmósferas sobre la base de una presión de trabajo, según diseño, de 8 atmósferas. Durante el funcionamiento de la planta no se observaron, sin embargo, presiones superiores a 3.5 atmósferas. Estas medidas de seguridad fueron las principales, aunque no las únicas, relacionadas con los estanques de anhídrido sulfuroso licuado. En cuanto a la seguridad de los otros depósitos de la planta, se tomó la decisión de colocarlos dentro de una piscina con un volumen que permite recibir el contenido de un estanque en caso de producirse un derrame por efecto de una rotura.

### 5. Gestión estratégica y tecnológica

La razonable producción y formulación de productos químicos impone hoy una conciencia empresarial que logre conciliar el desarrollo y crecimiento económico con productos de buena calidad, preservación del medio ambiente y manejo de recursos humanos con opción a proporcionar una mejor calidad de vida. La empresa no sólo requiere de la confianza del cliente, sino la de su entorno laboral, comunal, y evidentemente la de sus socios. En este sentido QUIMETAL ha logrado consolidarse como una empresa de productos químicos líder en la economía chilena que en 1991 cumplió 40 años de continuo ejercicio empresarial.

La industria tuvo un origen casi artesanal que se remonta a los años cuarenta cuando se inició la fabricación de sulfato de cobre en Santiago. A principios de los años cincuenta, varios eventos provocaron una transformación de la empresa. En primer lugar, hubo un cambio de dueños y, con ello, la incorporación de nuevos productos al programa de fabricación. Luego se suscribió un convenio de asistencia técnica con la firma Schering A.G. de Berlín con el objeto de formular en Chile algunos productos fitosanitarios. Por último, los nuevos dueños contrataron a un especialista alemán en productos fitosanitarios como gerente de producción. Bajo la dirección técnica de él se diversificó considerablemente la fabricación de productos químicos inorgánicos.

A principios de los años sesenta hubo un nuevo cambio de dueños. La industria fue adquirida por la Compañía Electro Metalúrgica S.A. y por el gerente de producción de la empresa. Nuevamente se diversificó el programa de producción mediante la fabricación de trióxido de molibdeno, sales protectoras de madera, óxido de cobre y otros. Hacia fines de los años setenta se incursionó en el aprovechamiento de residuos mineros y se desarrolló una tecnología propia para fabricar selenio al 99.5%.

Las exportaciones de la empresa empezaron en el año 1963 con oxiclورو en grado técnico y fungicida. Los primeros mercados fueron Brasil, Colombia y Venezuela. Posteriormente, al sumarse al conjunto de los compradores tradicionales, entre otros países, Alemania, Taiwán y varios países centroamericanos, las exportaciones aumentaron sustancialmente. En el caso del selenio, la producción se destinó íntegramente a la exportación. A mediados de la década de los ochenta se obtuvo especial éxito con la fabricación y exportación de otros compuestos cúpricos, utilizado como materia prima en la fabricación de pigmentos azules. En la actualidad, QUIMETAL es un proveedor mundial de vanguardia

de este producto, abasteciendo firmas de gran prestigio en Estados Unidos, Alemania, Italia y países del Lejano Oriente.

En los últimos años, QUIMETAL ha desarrollado la fabricación y comercialización de una serie de nuevos productos. Gran aceptación tuvieron los llamados papelillos "Preserva Uvas" que impiden la propagación de la botritis en uva de mesa durante su transporte a los países de destino. Este producto, fuera de su venta en el país, se está exportando a Argentina, Australia, Brasil y Grecia, entre otros países. El fungicida registrado bajo la marca ACOIDAL ha encontrado una creciente aceptación en Estados Unidos. Entre los nuevos productos también figura el óxido cuproso, un potente fungicida para ciertas plantaciones. Uno de los últimos productos lanzado al mercado es el inhibidor de mancha azul en madera aserrada, NP-1, destinado a reemplazar los productos elaborados a base de pentaclorofenol, cuyo uso ha sido prohibido en los principales países industrializados. Para este efecto, QUIMETAL formó, como se mencionó anteriormente, un joint-venture con un prestigiado grupo inglés.

Estos antecedentes muestran que QUIMETAL ha impulsado a lo largo de su evolución una vigorosa diversificación de su producción. A partir de cierto momento logró insertarse exitosamente en el mercado mundial. En gran parte ha desarrollado su propia tecnología o ha adaptado la que estaba disponible. Por otra parte, cuando las circunstancias lo aconsejaban, ha recurrido a acuerdos de licencia o a la formación de joint-ventures como mecanismos de adquisición y complementación de tecnologías. Además ha acumulado una gran experiencia operativa en algunos procesos de fabricación, lo que le permitió al equipo técnico de la empresa encarar con éxito el diseño y la ingeniería de determinados proyectos, entre ellos la nueva planta de anhídrido sulfuros.

La fabricación de anhídrido sulfuroso licuado comenzó en 1963 y la elaboración de bisulfito de sodio, incluso diez años antes de este hito, en la fábrica de Santiago. Estas plantas correspondían a un diseño bastante primitivo de modo que en 1985 se tomó la decisión de parar la producción. Cuando se presentó la posibilidad de abastecer a dos grandes productores de celulosa con anhídrido sulfuroso, surgió el proyecto de construir una planta moderna. QUIMETAL poseía conocimientos de proceso propios. Sin embargo, teniendo presente la responsabilidad que significaba suministrar un producto en grandes cantidades y en forma prácticamente continua, se optó por buscar apoyo de terceros. En un principio se sostuvieron conversaciones con una firma sueca especializada en la construcción de plantas de anhídrido sulfuroso. La tecnología que ofreció esta firma no incluía la licuación en frío, lo que era un aspecto esencial del proyecto. Por lo tanto se consideraron otras alternativas.

Entonces se iniciaron conversaciones con la Lurgi de Alemania para obtener la tecnología necesaria y finalmente se llegó con esta firma a un acuerdo de suministro de ingeniería básica. Además, la Lurgi ofreció proveer un moderno quemador de azufre, que era uno de los elementos esenciales del proyecto. A partir de los antecedentes proporcionados por la Lurgi, el equipo técnico de QUIMETAL elaboró la ingeniería de detalle. Esto significó, entre otras cosas, ajustar las escalas de producción, hacer el cálculo de los parámetros básicos de las distintas operaciones unitarias, establecer las características de los equipos, especificar los materiales y seleccionar los proveedores. De esta manera, QUIMETAL fue generando su propio acervo tecnológico en complementación de la ingeniería básica original. La Lurgi le reconoció a QUIMETAL derechos de propiedad intelectual e indicó que estos se podrían hacer valer en futuros proyectos de terceros. El costo de la asesoría que prestó la Lurgi fue el 3.8% del valor de la inversión total.

La forma como se realizó la gestión tecnológica del proyecto repercutió en el origen del abastecimiento de la maquinaria y equipo. Así, el 27% de la inversión en maquinaria y equipo provino de fuentes locales. Entre los equipos de este origen se pueden mencionar algunos de altas exigencias técnicas tales como la caldera, el horno, los estanques de anhídrido sulfuroso licuado, ventiladores, bombas y equipos en acero inoxidable. El suministro de equipos proveniente de otros países latinoamericanos también fue considerable. El 20% del valor de los equipos fue de origen brasileño y un 4%, de origen argentino.

## ANEXO

### Comparación entre el antiguo y el nuevo proceso de fabricación de anhídrido sulfuroso, de QUIMETAL

#### 1. Descripción de los procesos de fabricación

El antiguo proceso consta de las siguientes etapas:

- combustión de azufre con aire, que no es previamente secado;
- lavado de los gases con agua;
- producción de bisulfito de sodio por inyección de gas a una solución de soda cáustica y
- descomposición del bisulfito de sodio con ácido sulfúrico.

Con este proceso se obtienen los productos y residuos siguientes:

Por una parte anhídrido sulfuroso con una concentración de 98%. Este gas pasa por torres de secado con ácido sulfúrico concentrado. Luego es condensado a  $\text{SO}_2$  100% licuado en una planta de frío. Una pequeña cantidad de gas (5%) es retornado a la producción de bisulfito.

Por otra parte una solución saturada de sulfato de sodio y de bisulfato de sodio con una alto grado de acidez por el exceso de ácido sulfúrico. Es sumamente difícil de deshacerse de esta solución.

El nuevo proceso se compone de las siguientes operaciones:

- combustión de azufre con aire seco;
- purificación del gas  $\text{SO}_2$  con una concentración de 18% con ácido sulfúrico;
- formación de solución acuosa de  $\text{SO}_2$ ;
- formación de bisulfito;
- planta de frío para obtener  $\text{SO}_2$  licuado 100%.

2. Comparación de los consumos específicos de materias primas y energía.

	Proceso antiguo	Proceso nuevo
Azufre	580 kg/ton SO <sub>2</sub>	540 kg/ton SO <sub>2</sub>
Soda Caústica	630 kg/ton SO <sub>2</sub>	-----
Acido sulfúrico	1 300 kg/ton SO <sub>2</sub>	-----
Energía Kwh	250 kwh/ton SO <sub>2</sub>	388 kwh/ton SO <sub>2</sub>
Agua	40 m <sup>3</sup> /ton SO <sub>2</sub>	2.3 m <sup>3</sup> /ton SO <sub>2</sub>