

## Algunos efectos sobre la salud pública.....

Efectos	MP MP2.5 (SO <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> )	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	As	Hg
Mortalidad cardiorespiratoria	\$	\$			
Admisión hospitalaria por causas cardiovasculares y respiratorias	\$	\$			
Bronquitis crónica	\$	\$			
corrosivo para la piel, ojos, nariz, membranas mucosas, tracto respiratorio y gastrointestinal			\$		
Cáncer (pulmón, vejiga, hígado, piel y riñón)	\$			\$	
Alteraciones sistemas nervioso Bajo coeficiente intelectual					\$
Ausentismo laboral - escolar	\$	\$		\$	\$

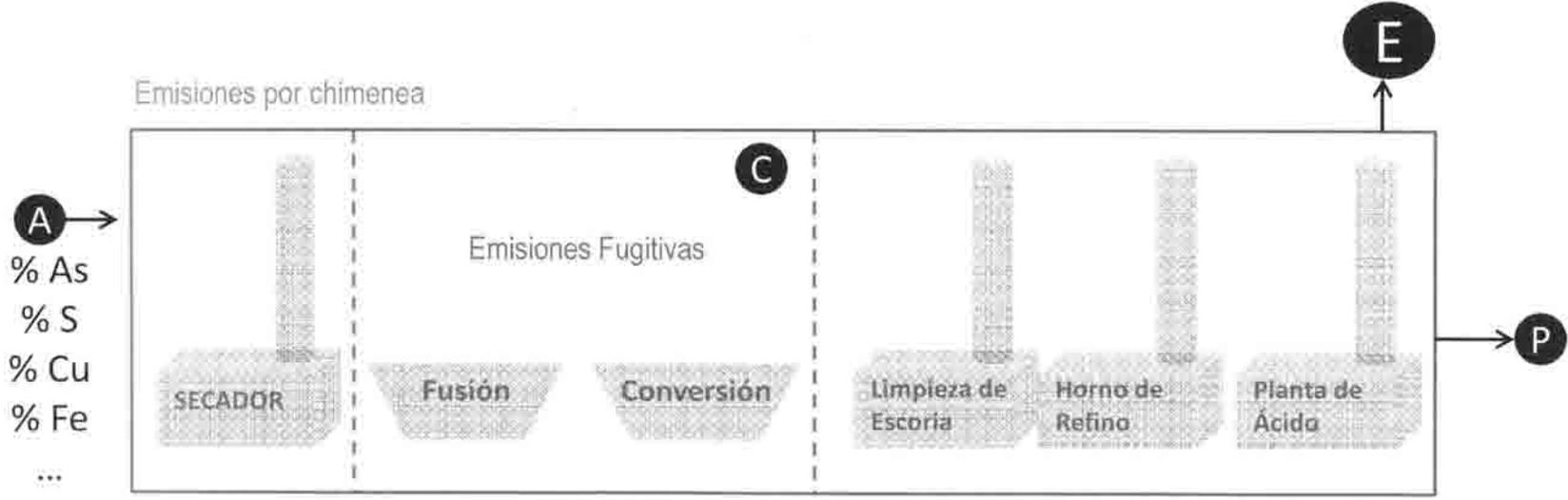
Fuente: Elaborado a partir de Organización Mundial de Salud (OMS). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR).

Fuente: Elaboración propia de Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa

# ¿Qué se exige hoy?

- Norma de Arsénico D.S. 165/1999
- Norma modificación de la metodología D.S. 75/2008
- Resolución Revisión de la norma de As 2011

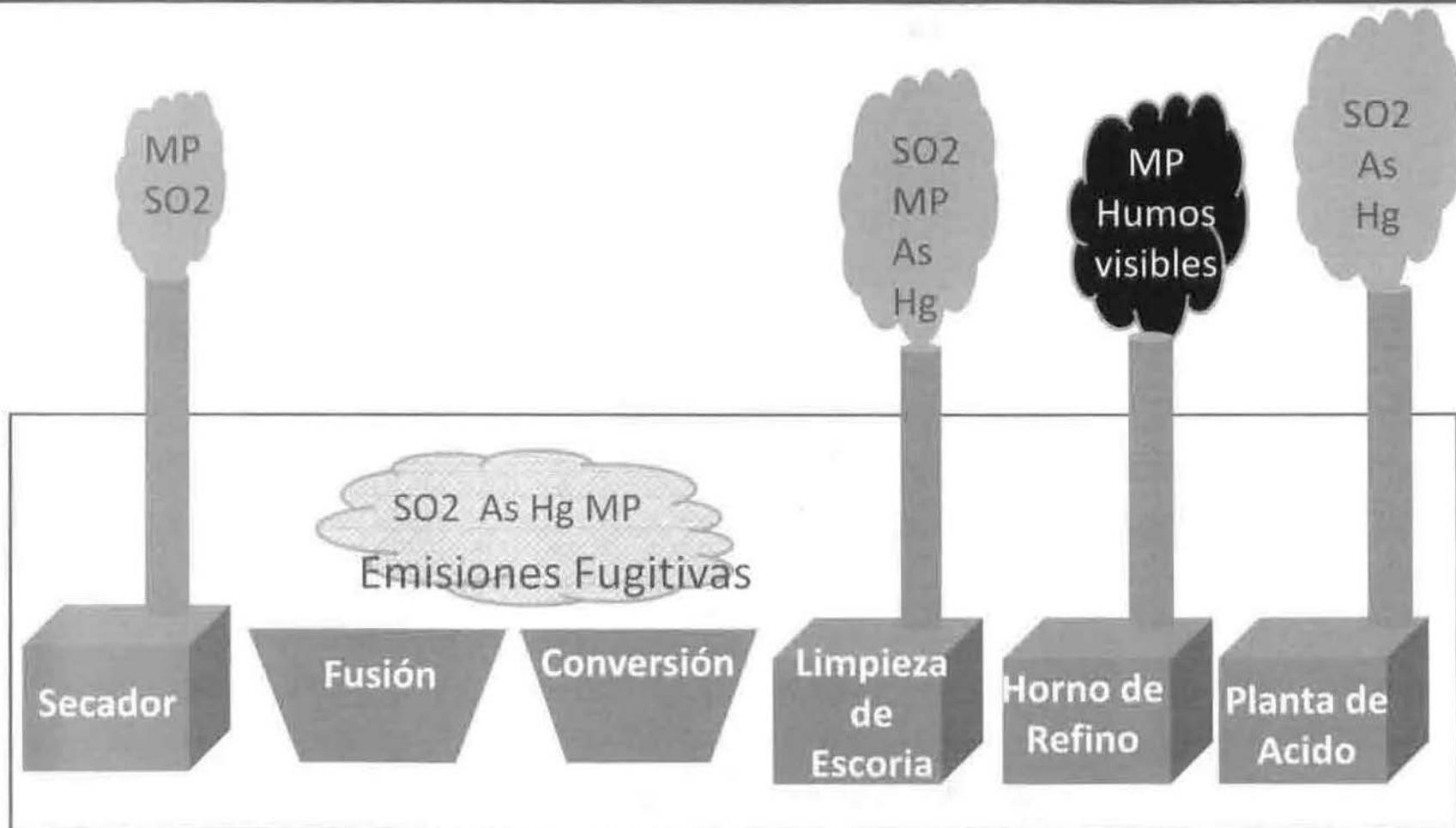
- Cuota de emisión SO2 (planes)
- Cuota de emisión MP (planes)
- Norma de emisión de arsénico



$$E = A - P - C$$

E : emisiones (fugitivas + chimenea)      A: alimentación  
 C: circulante      P : producto

# Emisiones....



Fuente: Elaboración propia de Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa

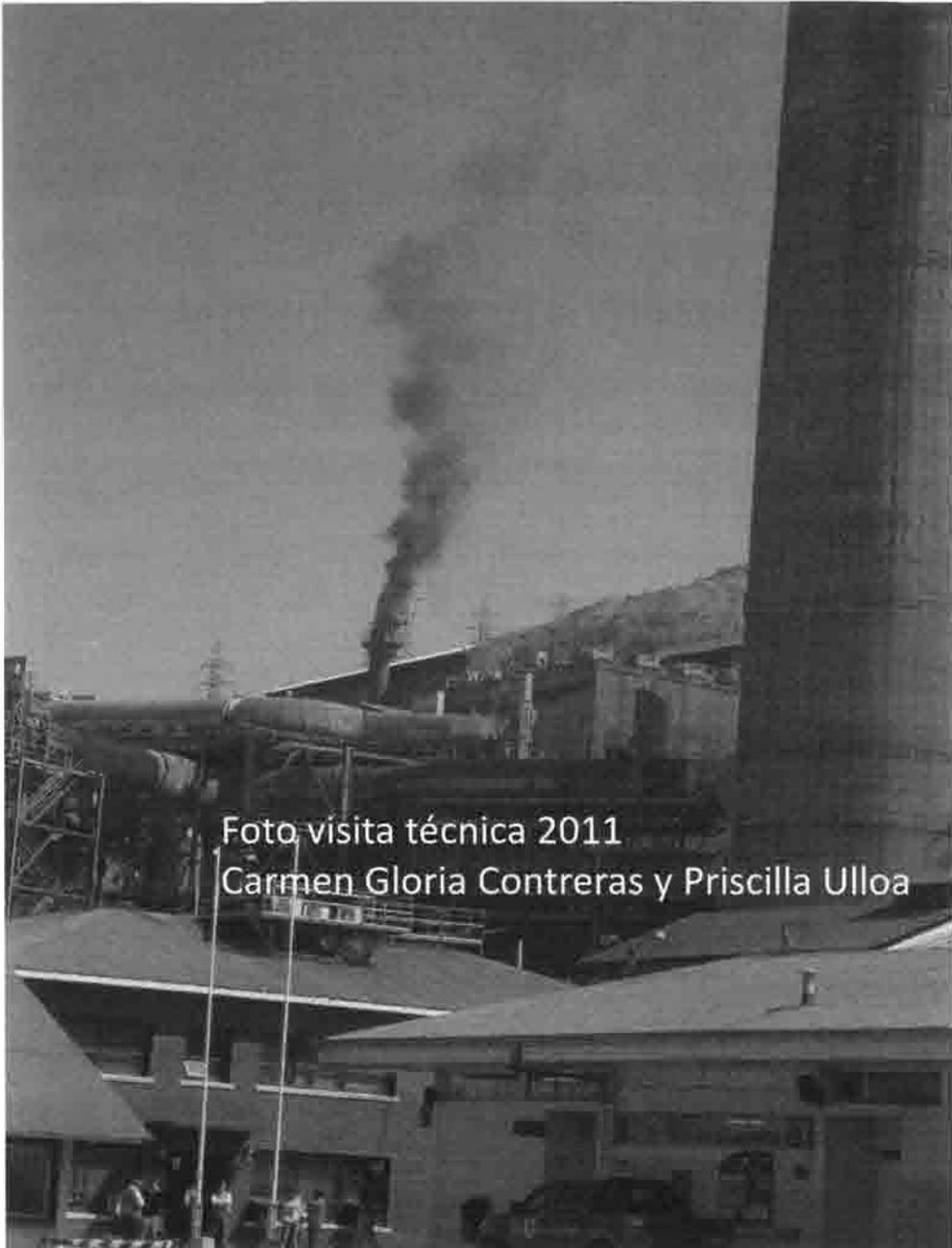


Foto visita técnica 2011  
Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa

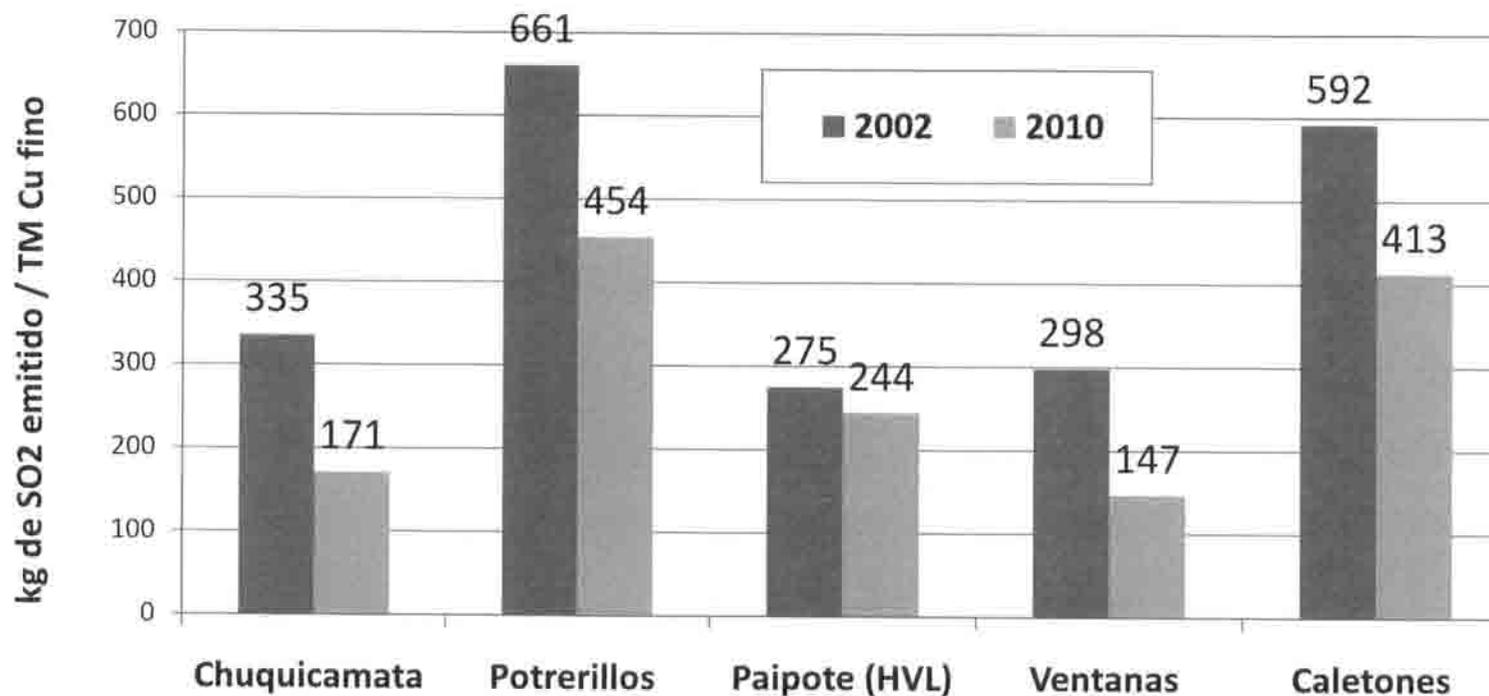


Foto visita técnica 2011  
Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa



Foto visita técnica 2011  
Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa

## Indicador de desempeño emisiones de SO2 por cobre fino producido 2002 - 2010



**2002** (Kg SO<sub>2</sub>/TM Cu fino)

Mínimo: 275

Máximo: 661

Prom: 432

**2010** (Kg SO<sub>2</sub>/TM Cu fino)

Mínimo: 171

Máximo: 454

Prom: 285

0464

# Evolución captura de SO2 fundiciones chilenas...

0464 VTA

Fundiciones	Captación de Azufre (%)			
	1989 -1990	2006	2009	2010 <sup>(8)</sup>
Chagres <sup>(2)</sup>	75 <sup>(4)</sup>	95,2	95,6	95,7
Ventanas	9 <sup>(1)</sup>	85 <sup>(4)</sup>	92,3 <sup>(7)</sup>	93,8
Altonorte	--	90 <sup>(4)</sup>	93,3 <sup>(3)</sup>	93,7
Chuquicamata	31 <sup>(1)</sup>	90 <sup>(4)</sup>	91,1 <sup>(7)</sup>	91,0
Paipote (HVL)	23 <sup>(1)</sup>	92 <sup>(6)</sup>	87,7 <sup>(6)</sup>	89,4
Caletones	6 <sup>(4)</sup>	90 <sup>(4)</sup>	87,3 <sup>(5)</sup>	88,0
Potreriillos	3 <sup>(1)</sup>	89 <sup>(4)</sup>	76,2 <sup>(7)</sup>	83,5

Fuente: Elaboración propia a partir de:

(1) COCHILCO, 2010.

(2) Información entregada por Chagres, 2011.

(3) Puesta en marcha 1993. Información obtenida de la visita a la fundición de Altonorte, 2011.

(4) Environmental Management of Chilean Copper Smelters, Economic and Technical Options, Jaime A. Solari, General Manager, SGA.

(5) Información obtenida del Informe de la U. Chile, 2009.

(6) Fundición HVL (Paipote), 2010. Información entregada por Alejandro Diez.

(7) Estimación a partir del concentrado tratado y emisiones reportadas por las fundiciones.

(8) Visitas técnicas realizadas por Asuntos Atmosféricos, división Política y Regulación Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente.

Potencial de reducción emisiones SO<sub>2</sub>  
plantas de ácido

# Algunas medidas para reducir emisiones...

0465 VTA

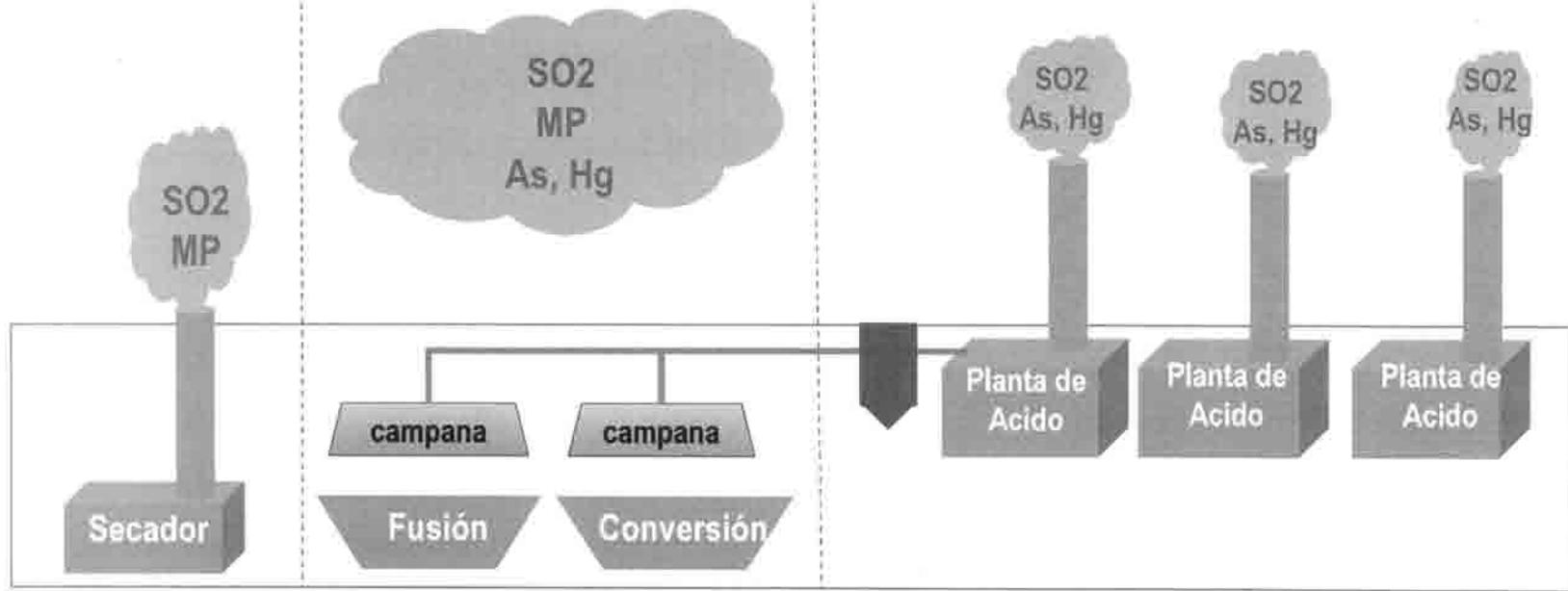
**Secador**  
Combustible  
Azufre  $\leq 50$  ppm  
Tecnologías

**Emisiones Fugitivas**

- Optimización campanas
- Campanas secundarias
- Cambio hornos continuos

**Plantas de ácido**

- Simple a doble contacto
- Optimizar catalizadores
- Desulfurizador



## Alternativas tecnologías plantas ácido....

- Las nuevas plantas de ácido de cobre se encuentran principalmente en un rango menor a los 300 ppm para las emisiones de SO<sub>2</sub>.
- Sin embargo, hay una discusión actualmente en el IPCC acerca de la emisión de SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> independiente de la entrada de SO<sub>2</sub> a la planta y de la eficiencia de la conversión. Hoy es posible lograr niveles de SO<sub>2</sub>, bajo 100 ppm.
- La tabla muestra las tecnologías del IPCC reportada por la CE. Se observa que las de doble contacto están diseñadas para contenidos de entrada de SO<sub>2</sub> más alto, tienen una mayor eficiencia de conversión y logran menores concentraciones de SO<sub>2</sub>.

Tipo planta de ácido	Concentración entrada SO <sub>2</sub> (%)	Eficiencia conversión	Concentración salida SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Simple contacto Cs <sub>2</sub> O	≤ 3%	≥99,0%	750
Simple contacto Cs <sub>2</sub> O+ WSA condensador	≤ 3%	≥99,0%	850
Doble contacto 4 capas	≥ 5%	≥99,5%	450
Doble contacto 5 capas	15%	≥99,8%	500
Doble contacto 5 capas Cs <sub>2</sub> O	14%	≥99,9%	≤285
Desulfurizador <sup>(2)</sup>	---	---	< 200

Fuente:

- (1) IPCC (December 2001) Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 138; IPCC (November 2008).
- (2) Consulta por e.mail de P. Ulloa- C.G. Contreras a Sr. Axel Schulze de la empresa Hugo Petersen

## Plantas de ácido (1/2):

En total son 9 plantas de ácido simple

0466 VTA

- Chuquicamata (3)
- Caletones (2)
- Potrerillos (1)
- Altonorte (1)
- HVL (2)

**Simple contacto**

7.800 mg/Nm<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>



**Doble contacto**

1.400 mg/Nm<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>

**5 veces menos!!!**

## Plantas de ácido (2/2):

En total son 3 plantas de ácido doble

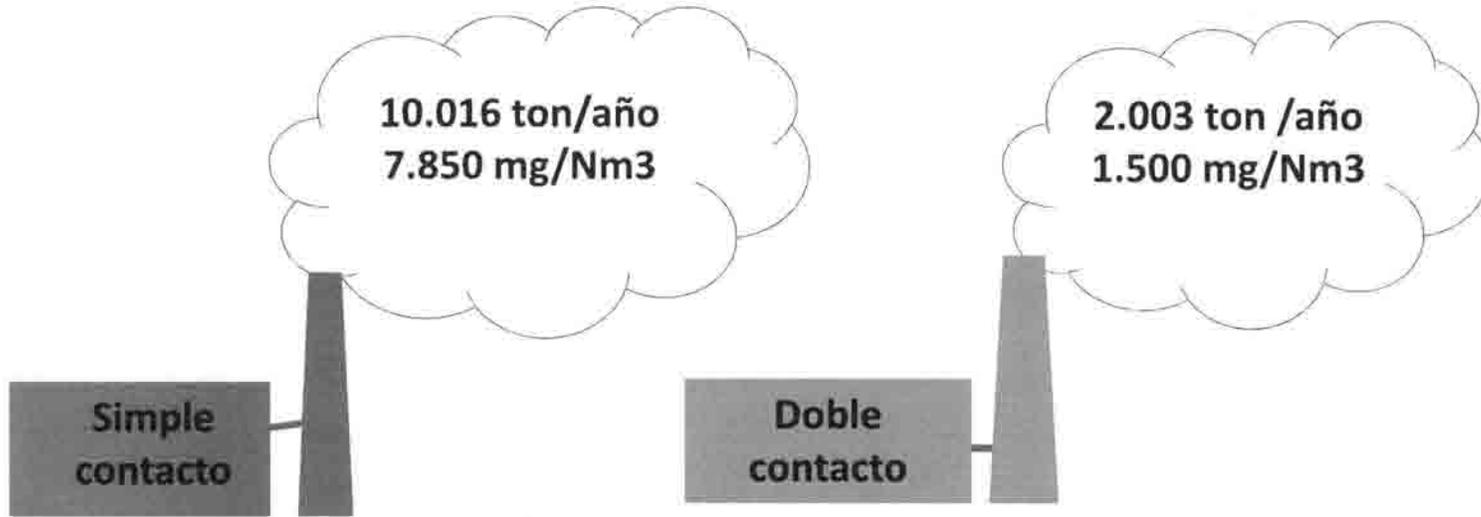
- Chagres (1)
- Ventanas (1)
- Altonorte (1)

**Doble contacto**  
**1.400 mg/Nm<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>**

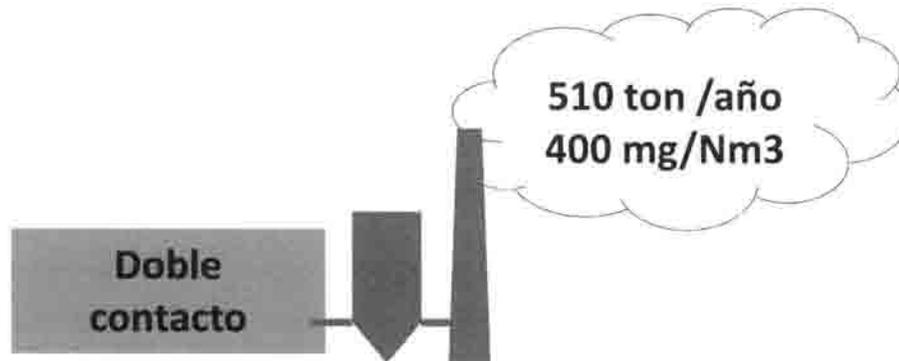
- La planta de ácido es una de las operaciones unitarias más relevante por cantidad y calidad de emisión.
- Las plantas de simple contacto pueden ser convertidas a plantas de doble contacto, utilizando un scrubber.
- Las plantas de ácido de doble contacto operan de manera autógena, con concentraciones de entrada de SO<sub>2</sub> de hasta 5%.
- La eficiencia de conversión de una planta de doble contacto alcanza 99,9% con una concentración de salida de 500 ppm a menos de 100 ppm (1.500 a menos de 300 mg/Nm<sup>3</sup>), dependiendo de las condiciones del gas y de factores de diseño de la planta.

Ejemplo de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub>:

**1ª alternativa: simple a doble contacto implica 80% de reducción de emisiones**

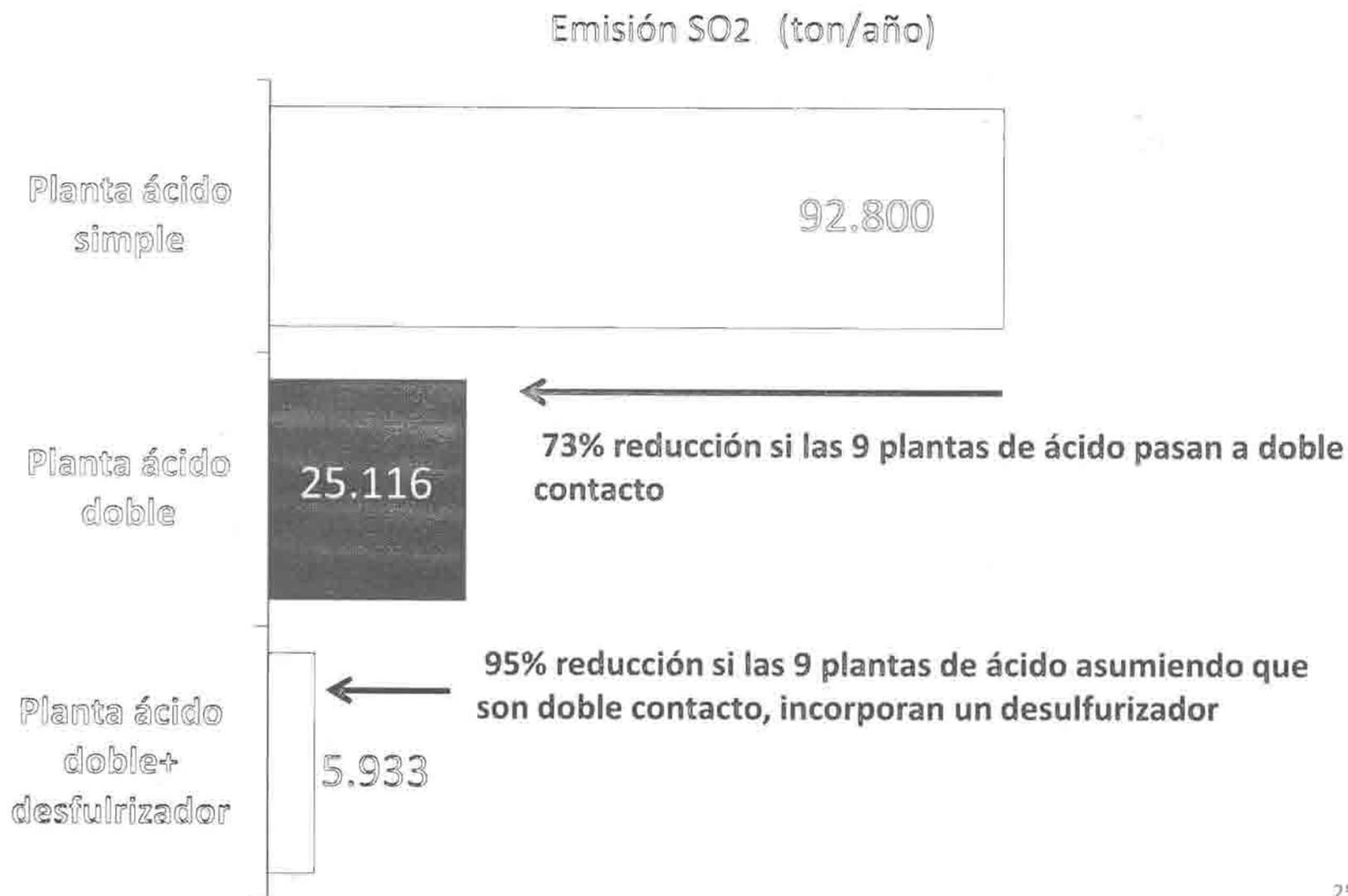


**2ª alternativa: incluir un desulfurizador implica 95% de reducción de emisiones**



Fuente: Elaboración propia de Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa

## Reducción esperada de emisiones plantas de ácido :



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la encuesta y visitas técnicas a las fundiciones de Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa.

## Tecnologías reducción emisiones de Material Particulado

0468 VTA

<b>Equipo de control</b>	<b>Eficiencia de remoción (%)</b>	<b>Rango de emisiones MP (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
Filtro de mangas	≥ 99,5 %	≤ 1-5
Precipitador electrostático seco	≥99,0 %	≤5- 15
Precipitador electrostático húmedo	≥99,0 %	≤ 1-5

Fuente: IPPC (December 2001) Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 137. ; IPPC (November 2008)

## Medidas reducción de emisión de arsénico(As)

Alternativas	Eficiencia de Captación de As
Flash Converting-Flash Smelting ó Proceso Mitsubishi	> 99%
Horno Flash Inco ó Ciclón Contop ó Proceso Isasmelt	95%
Campanas secundarias	94% - 99%
Precipitador electrostático	10% - 50%
Planta de ácido	> 99%
Tapas canaletas de sangría	99%
Planta de tratamiento de polvos	80% - 90%
Cierre de la fundición	100%

Fuente: O'Ryan R., Ulloa A., Díaz M. (1997), "Evaluación riesgo-costo de opciones regulatorias para el arsénico emitido por fundiciones de cobre".

# Objetivos

Informar sobre el avance de la elaboración de la norma, en cuanto a:

1. Contaminantes a regular: MP, SO<sub>2</sub>, As, Hg, NO<sub>X</sub>
2. Evidencias de tecnologías disponibles que reducen la emisión de contaminantes al aire
3. Potencial de reducción de emisiones y efectos con la nueva regulación

# Avance diseño Norma de emisión fundiciones de cobre



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Gobierno de Chile

Marcelo Fernández  
Carmen Gloria Contreras  
Priscilla Ulloa  
Siomara Gómez  
Jenny Tapia

Ministerio del Medio Ambiente  
División de Política y Regulación  
Asuntos Atmosféricos  
4 de agosto de 2011



**Acta: Difusión sobre tecnologías y mejoramiento para fundiciones****Fecha: 22 de agosto 2011**      **Lugar: COCHILCO, Agustinas 1161, 4 piso. 12:00 a 13:30 hrs.**

Empresa Invitada: COPRIM INGENIERÍA S.A.

Contacto: Claudio Dodds H., Tel: (56 2) 571 0007, E.mail: cdodds@coprim.cl

Claudio Dodds F., Tel: (56 2)571 0000 E.mail: Claudio.dodds@coprim.cl

**Objetivo:**

Difundir con el comité operativo sobre tecnologías y sus costos para reducir las emisiones en las fundiciones de cobre.

**Ministerio del medio ambiente:**

Srta. Carmen Gloria Contreras, Encargada Regulaciones Sector Industrial

Sra. Priscilla Ulloa, Regulaciones Sector Industrial

**Asistentes:**

María Luz Vásquez, Ministerio de Minería

Pedro Vallejos, Ministerio de Economía

Pedro Santic, COCHILCO

**Ausente: Santiago Izquierdo, Ministerio de Agricultura****Se excuso: Sr. Walter Folch, Ministerio de Salud****Resumen de los principales aspectos tratados en la reunión:**

- En el mercado que cubre COPRIM, existen 3 medidas para las fundiciones: cambio de reactores, optimización campanas de captación de gases y enfriadores.
- El sistema de manejo de gases en una fundición incluye: captación, enfriamiento, limpieza y neutralización.
- El máximo de polvo que puede ingresar a una planta de ácido es 1 g/Nm<sup>3</sup>, lo cual implica que las partículas de los gases deben ser retiradas en precipitadores electrostáticos.
- Los especialistas señalan que con la optimización de la captura de gases, una fundición puede mejorar su captura de azufre en 3 a 4 puntos.
- Se proyecta que los concentrados experimentarán un aumento en su producción de un 70%, y que tendrán altos contenidos de arsénico. Parte de estos concentrados no podrán ser exportados debido al contenido de arsénico mayor a 0,1%, que exige el mercado internacional (como: Japón, Estados Unidos, CE, mientras China acepta hasta un 0,5% As). Los que deberán ser tratados en las fundiciones (o en una planta de tostación). Se prevé que si la normativa ambiental no restringe las emisiones de arsénico estas se incrementarán significativamente.
- El horno Pierce Smith (PS), es un horno de tecnología antigua (fines de 1800), batch, sin confinamiento y altas cargas de emisiones al aire (todas las fundiciones tienen este tipo de horno en la etapa de conversión).
- Un aspecto relevante que condiciona las emisiones, corresponde a las prácticas operacionales (cultura operacional).
- Los especialistas comparten la opinión que el mínimo de captura de SO<sub>2</sub> que pueden alcanzar todas las fundiciones de cobre existentes es un 94%, y que 97% implica cambio estructural tecnológico en los hornos de fusión y conversión.



## Alternativas para reducir las emisiones SO<sub>2</sub> y MP en fundiciones de cobre

### 1. Alternativas para reducir emisiones dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

- a. Fundición Onahama, Japón: esta fundición reporta en el año 1975 que ya trataba los gases de cola de la planta de ácido en un scrubber con hidróxido de sodio (NaOH) para reducir la concentración final de SO<sub>2</sub> a 20 ppm, es decir 60 mg/Nm<sup>3</sup>. Además, el edificio de convertidores esta encapsulado para prevenir el escape de gases a la atmósfera de los gases no tratados del transporte de ollas. Estos gases son atrapados y conducidos a un scrubber con cal antes de liberarse al aire. Los costos de inversión y operación de un sistema de control para tratar emisiones de SO<sub>2</sub> están determinados por el volumen de gas a tratar (Semrau 1975)
- b. Tratamiento gases diluidos (concentraciones ≤1% SO<sub>2</sub>): Los gases diluidos se tratan en un scrubber con hidróxido de sodio o de magnesio o soluciones carbonatadas. Otro proceso es el denominado Cominco, que utiliza una solución de amoníaco (NH<sub>3</sub>) como absorbente que ha sido aplicado comercialmente en procesos de producción de pulpa. El proceso Cominco resulta en SO<sub>2</sub> concentrado y sulfato de amonio como subproducto, el SO<sub>2</sub> concentrado es reinyectado a la planta de ácido sulfúrico (Semrau 1975).
- c. Planta de ácido doble: Las plantas de ácido de doble contacto son capaces de operar de manera autógena con concentraciones de SO<sub>2</sub> de hasta 5%. La eficiencia de conversión de una planta de ácido de doble contacto varía desde 99,5% a 99,9% con una concentración de salida que varía desde 500 ppm a 100 ppm (1350 a 270 mg/Nm<sup>3</sup>). Esto por supuesto depende de las condiciones iniciales del gas y los factores de diseño de la planta de ácido. Las plantas de simple contacto pueden ser convertidas a plantas de doble contacto. En estos casos se utiliza un scrubber adicional.

Tabla 1. Composición del gas de salida de planta de ácido doble contacto existentes europeas (eficiencia de conversión ≥99.6%)

Contaminante	Valor medido (mg/Nm <sup>3</sup> )
SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> )	100 - 1100
SO <sub>3</sub>	20 - 40
NO <sub>x</sub>	20 - 45
Hg	0.001 - 0.07
As	≤0.01 - 0.02
Pb	≤0.01 - 0.5
Sb	≤0.01 - 0.5

Fuente: Integrated Pollution Prevention and Control -IPPC (December 2001) Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 137. ; IPPC (November 2008)

Por ejemplo, si las cinco fundiciones chilenas que poseen plantas de ácido de simple contacto se modifican a plantas de ácido de doble contacto se reduce las emisiones de SO<sub>2</sub> desde a 92.800 toneladas al año a 25.116 toneladas al año, lo cual representa un 73% de reducción de las emisiones de las plantas de ácido.

Tabla 2. Comparación de las emisiones de SO<sub>2</sub> de las plantas de ácido de fundiciones chilenas con simple y doble contacto

Fundición	Planta ácido simple (t/a)	Planta ácido doble(t/a)
Chuquicamata	30048	6010
Caletones	27213	5443
Altonorte	14287	5905
Potrerillos	11597	2319
HVL	9654	1524
Ventanas	No posee	1492
Chagres	No posee	2423
<b>Total</b>	<b>92799</b>	<b>25116</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta al sector (2011) considerando una concentración de salida de 1527 mg/Nm<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> (600 ppm)

- d. Tecnología de plantas de ácido sulfúrico: la siguiente tabla muestra cinco tecnologías reportadas por la comunidad europea a través del IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), las cuales son utilizadas por las plantas de ácido actualmente

Tabla 3. Concentración de SO<sub>2</sub> de las plantas de ácido existentes europeas

Tipo de planta de ácido	Concentración de entrada SO <sub>2</sub> (%)	Concentración de salida SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Eficiencia conversión
Simple contacto Cs <sub>2</sub> O	≤ 3%	750	≥99%
Simple contacto Cs <sub>2</sub> O+ WSA condensador	≤ 3%	850	≥99%
Doble contacto de 4 etapas	≥ 5%	450	≥99.5%
Doble contacto de 5 etapas	15%	500 - 1000	≥99.8%
Doble contacto de 5 etapas Cs <sub>2</sub> O	14%	≤285	≥99.9%

Fuente: IPPC (December 2001) Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 138; IPPC (November 2008)

En 1996, las plantas de ácido de doble contacto Haldor Topsoe introdujo el catalizados VK-69 que permitió alcanzar emisiones de SO<sub>2</sub> bajo 100 ppm en chimenea, i.e. 300 mg/Nm<sup>3</sup> (Haldor Topsoe). Actualmente, Haldor ATopsoe esta probando tecnología para alcanzar los 150 mg/N m<sup>3</sup>

La siguiente tabla muestra la concentración de SO<sub>2</sub> de salida de la planta de ácido WSA utilizada por la planta de tostación de MolyMet, Nos, San Bernardo, la cual permitió disminuir a la mitad las emisiones de SO<sub>2</sub> para dar cumplimiento a la resolución N° 859/05 y resolución de calificación ambiental exenta N° 435/05 de la CONAMA R.M. La implementación de la planta WSA incluyo la adquisición de equipos para monitorear en línea las emisiones de SO<sub>2</sub> (Memoria Anual 2007 Molibdeno y Metales S.A.)

Tabla 4 . Emisiones de SO<sub>2</sub> de la planta de tostación de MolyMet - Nos, Chile.

	Caudal (Nm <sup>3</sup> /hora)	Eficiencia de conversión	Concentración de SO <sub>2</sub> de salida de diseño
Planta de ácido Tecnología WSA (Wet gas Sulphuric Acid) catalizador Topsoe	56.000	99,5%	Menor a 190 ppm (510 mg/Nm <sup>3</sup> )

Fuente: Conversación con Sr. Héctor Garrido visita técnica a la planta de tostación MolyMet enero 2011.

2. **Monitoreo de emisiones SO<sub>2</sub>:** de las siete fundiciones chilenas solo 3 fundiciones monitorean continuo SO<sub>2</sub> en chimenea de planta de ácido como muestra la siguiente tabla.

Tabla 5. Monitoreo continuo emisiones SO<sub>2</sub> de las plantas de ácido

Fundición	Monitoreo continuo en chimenea SO <sub>2</sub>
Chuquicamata	No
Caletones	No
Altonorte	Si
Potrerrillos	No
HVL	No
Ventanas	Si
Chagres	Si

Fuente: Elaboración a partir de encuesta realizada a las fundiciones de cobre chilenas (2011).

3. **Alternativas para reducir emisiones de MP:** para poder transformar el SO<sub>2</sub> a ácido sulfúrico en la planta de ácido, el gas no debe contener material particulado, por lo cual debe retirarse las partículas en los precipitadores electrostáticos. Los secadores y hornos de limpieza de escoria y de refino emiten material particulado que deben ser tratados en equipos de control como los siguientes:

Tabla 6. Emisiones de material particulado de equipos de control disponibles

Equipo de control	Tamaño de partícula (µm)	Máxima temperatura de operación (°C)	Eficiencia de remoción (%)	Rango de emisiones MP (mg/Nm <sup>3</sup> )
Precipitador electrostático seco	≤0.1	450	≥99	≤5- 15
Precipitador electrostático húmedo	0.01	80	≥99	≤ 1-5
Filtro de mangas	0.01	220	≥ 99.5	≤ 1-5

Fuente: IPPC (December 2001) Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 137.; IPPC (November 2008)

La siguiente tabla presenta los promedios anuales de la concentración de material particulado en 10 puntos de la fundición de Atlantic Copper, España, asociados al horno Flash, horno eléctrico, horno de refino y secadores principalmente.

Tabla 7. Emisiones de material particulado de la fundición Atlantic Copper, España, año 2008

	Valores promedios anuales (mg/Nm <sup>3</sup> )
Sangría Horno Flash	5
Sangría Horno Eléctrico	6
Secador rotativo	7
Hornos refino	42
Transporte neumático	7
Humos de convertidores	31
Vahos Rueda de Moldeo	15
Lavador Horno Eléctrico	71
Secador vapor	11
Ventilación Horno Eléctrico	12

Fuente: Atlantic Copper, Declaración Ambiental Año 2009, Complejo Metalúrgico de Huelva

La siguiente tabla presenta los valores máximos de emisión de material particulado de la regulación para fundiciones de cobre primarias en Estados Unidos, que rige desde el año 2002.

Tabla 8. Valores máximos de emisión de material particulado de la regulación de Estados Unidos

Fuente	Valor máximo de MP (mg/Nm <sup>3</sup> )
Secador de concentrado	50 (fuente existente) 23 (fuente nueva)
Horno limpieza escoria	46
Horno de fusión y conversión	23 (desde el sistema de captura gases fugitivos)

Fuente: Elaborado a partir de US EPA, 40 CFR, parte 63: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting (12 de Junio del 2002)

#### Referencias:

1. Semrau Konrad (1975), "Controlling the Industrial Process Sources of Sulfur Oxides", en Sulfur Removal and Recovery, Pfeiffer, Advances in chemistry, American Chemical Society, Washington DC, 1975.
2. IPPC (December 2001) Reference Documento on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, pág. 137-139, <http://eippcb.jrc.es/reference/>
3. IPPC (November 2008) Draft Reference Documento on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, <http://eippcb.jrc.es/reference/>
4. Memoria Anual 2007, Molibdeno y Metales S.A.
5. Haldor Topsoe, Christensen Kurt, "Meeting future SO<sub>2</sub> emission challenges with Topsøe's new VK-701 LEAP5™ sulphuric acid catalyst"  
[http://www.haldortopsoe.ru/business\\_areas/sulphuric\\_acid/sulphuric\\_acid\\_catalysts/~media/PDF%20files/Sulphuric\\_acid/Meeting\\_future\\_SO2\\_emissions\\_with\\_VK\\_701\\_LEAP5\\_apr\\_2011pdf.ashx](http://www.haldortopsoe.ru/business_areas/sulphuric_acid/sulphuric_acid_catalysts/~media/PDF%20files/Sulphuric_acid/Meeting_future_SO2_emissions_with_VK_701_LEAP5_apr_2011pdf.ashx)
6. US EPA (12 de Junio del 2002), 40 CFR, parte 63: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting

PAUM/CGCF//...

**Acta: Difusión sobre tecnologías y mejoramiento para fundiciones**

**Fecha:** 29 de agosto 2011 Lugar: COCHILCO, Agustinas 1161, 4 piso. 12:00 a 13:30 hrs.

Empresa expositora: OUTOTEC, [www.outotec.com](http://www.outotec.com)

Contacto: Alejandro Román. Tel: 56 2 336 2139, E.mail: [alejandro.roman@outotec.com](mailto:alejandro.roman@outotec.com)

Objetivo: Conocer sobre tecnologías y costos para reducir las emisiones en las fundiciones de cobre, en las reuniones de comité operativo.

**Asistentes:**

Carmen Gloria Contreras, Ministerio del medio ambiente

Priscilla Ulloa, Ministerio del medio ambiente

Pedro Santic, COCHILCO

Francisco Donoso, Ministerio del medio ambiente

Fernando Flores, SMELTEC

Sergio Demetrio, SMELTEC

Leonardo Demetrio, SMELTEC

María José Rodríguez, GEOAIRE

Mónica Torreblanca, GEOAIRE

**Ausentes:**

María Luz Vásquez, Ministerio de Minería

Pedro Vallejos, Ministerio de Economía

Walter Folch, Ministerio de Salud

Santiago Izquierdo, Ministerio de Agricultura

**Resumen de los principales aspectos tratados en la reunión:**

- OUTOTEC provee de: hornos flash, plantas de tostación, de limpieza de gases y de ácido.
- Existen dos tipos de plantas de ácido: simple y doble contacto. La principal diferencia entre una planta simple y doble, es que ésta última incluye un scrubber adicional. Por tal razón, su eficiencia de conversión aumenta desde 98% hasta 99,8%.
- Las plantas de ácido pueden tratar gases con un contenido de SO<sub>2</sub> entre un 7% a 12% volumen; esto significa que los gases emitidos por los hornos de fusión cuyo contenido de SO<sub>2</sub> varía desde 18% a 28% SO<sub>2</sub> en volumen deben ser diluidos con aire y con los gases emitidos de hornos Pierce Smith cuyo contenido de SO<sub>2</sub> es menor al 5%.
- Para poder controlar el flujo y contenido de SO<sub>2</sub> que ingresa a la planta de ácido, la fundición debe contar con una cámara de mezcla, con el fin de homogeneizar el contenido de SO<sub>2</sub> en el flujo de entrada y volumen de gas a tratar en la planta de ácido.
- En términos operacionales, antes de la planta de ácido hay una planta de limpieza, se debe procurar reducir todas las impurezas debido a que se daña el catalizador, disminuyendo su vida útil. El máximo de polvo que puede ingresar a una planta de ácido es del orden de 1.000 mg/Nm<sup>3</sup>.
- La mantención de una planta de ácido se realiza cada 18 meses en promedio. Después de la mantención es necesario que el operador respete la curva de calentamiento del catalizador, para que no se dañe.
- El catalizador posee una vida útil de 10 años si se realiza una buena mantención. Es importante evitar el daño al catalizador, producto de impurezas como arsénico y mercurio.
- Respecto a las neblinas ácidas, estas se producen en la torres por evaporación del ácido.
- Actualmente, las plantas de ácido contemplan el tratamiento de gases de cola. Para esto, una de las tecnologías que OUTOTEC provee, denominada "PERACIDOX", consiste en instalar un venturi scrubber a otro scrubber, que tratan los gases con agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para producir ácido sulfúrico. Por ejemplo, si la concentración del gas de cola de una planta de ácido simple es de 2% SO<sub>2</sub> vol. agregando la tecnología "PERACIDOX" podría alcanzar los 200 ppm de SO<sub>2</sub> en la chimenea (aprox. 600 mg/Nm<sup>3</sup>), actualmente esta tecnología está operando en Brasil.
- Existe una tecnología disponible llamada LUREC, la cual puede tratar gases con un contenido de SO<sub>2</sub> mayor a las de la planta de ácido, es decir de 17% a 18% SO<sub>2</sub> vol. Actualmente esta tecnología está operando en la fundición Yanggu Copper, China.



## TECNOLOGÍAS PLANTA DE ÁCIDO OUTOTEC

Soluciones sustentables y  
amigables con el medioambiente

2011

**Outotec**  
More out of ore

## Agenda

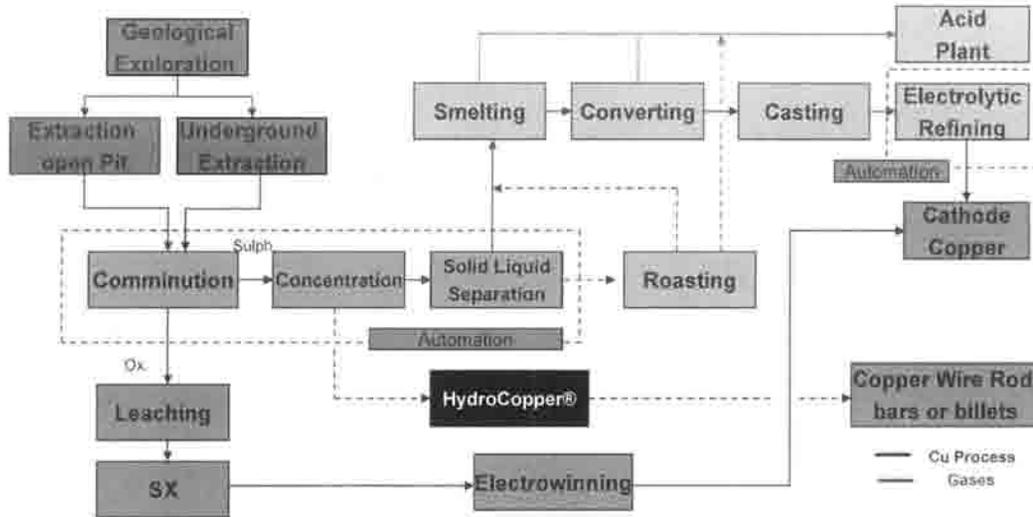
- o Introducción a las Plantas de Ácido
- o Plantas de Ácido por Contacto
- o Emisiones en la producción de ácido
- o Tecnología Outotec para reducir emisiones en Plantas de Ácido



**Outotec**  
More out of ore

# INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE ÁCIDO

## PROCESO PRODUCTIVO DE MINERALES DE COBRE

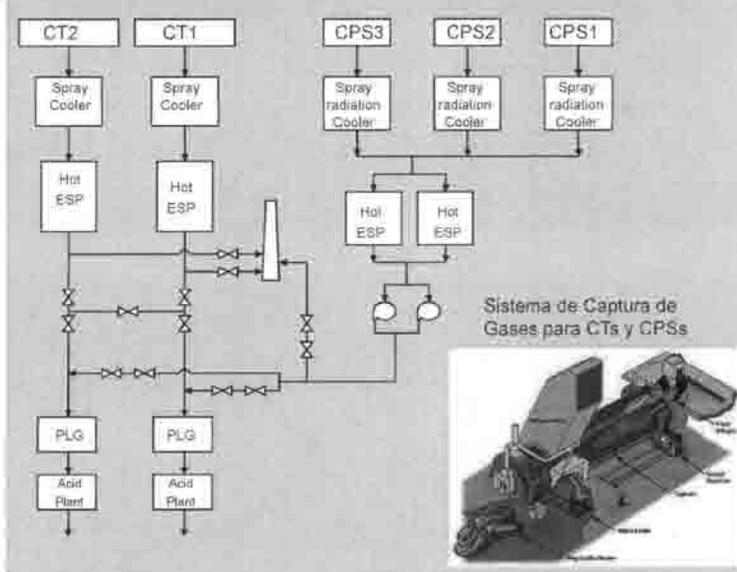


Las Plantas de Ácido surgen como solución medioambiental para tratar los gases metalúrgicos desde las Fundiciones y de paso producir ácido.



# INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE ÁCIDO

La mayoría de las Fundiciones incluyen un sistema de manejo de gases para recuperar los metales que se arrastran desde los procesos de fusión y conversión, y para abatir las impurezas que son nocivas para la producción de ácido.



Esquema típico para manejo de gases desde equipos de fusión-conversión en una fundición (Fundición Caletones, Div. El Teniente, CODELCO)



## INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE ÁCIDO

### RESEÑA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO

#### Método de Quema de Salitre (siglo XVIII)

- Combustión en atmósfera húmeda de  $\text{NaNO}_3$  y Azufre en un recipiente de vidrio.

#### Método de la Cámara de Plomo (1748)

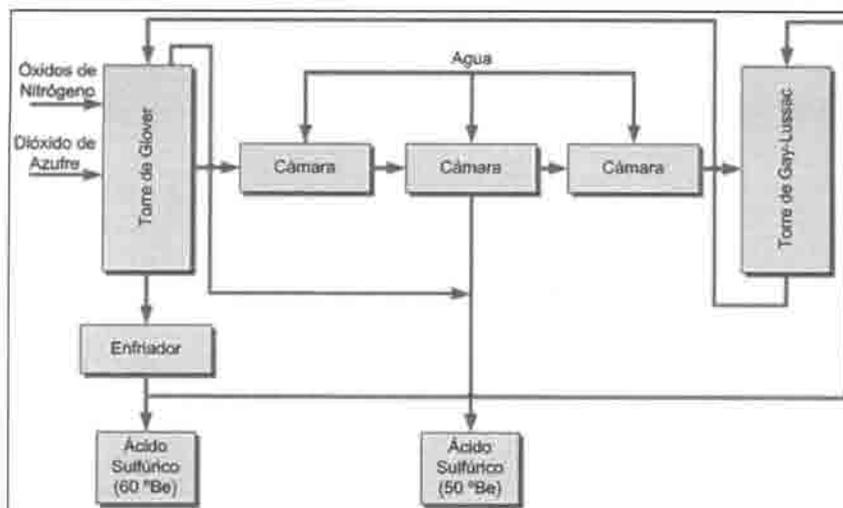
- $\eta < 78\%$
- Producción de ácido moderadamente concentrado ( $62 = 78\% \text{ w/w}$ )
- Materias primas de alta calidad
- Catalizador es muy costoso

#### Método de Contacto (1930)

- 1831: Oxidación  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$  usando Pt como catalizador,  $\eta: 95\%$
- 1913: Se patenta uso de Pentóxido de Vanadio
- 1930:  $\text{V}_2\text{O}_5$  catalizador dominante (+ barato, insensible a envenamiento)
- 1937: Lurgi patenta uso de Vanadio (permitió procesar gases calientes y húmedos con  $\text{SO}_2$ )

## RESEÑA DE LAS PLANTAS DE ÁCIDO

### • Método de la Cámara de Plomo



## PLANTAS DE ÁCIDO POR CONTACTO

Las 3 Etapas básicas del Proceso de Contacto son:

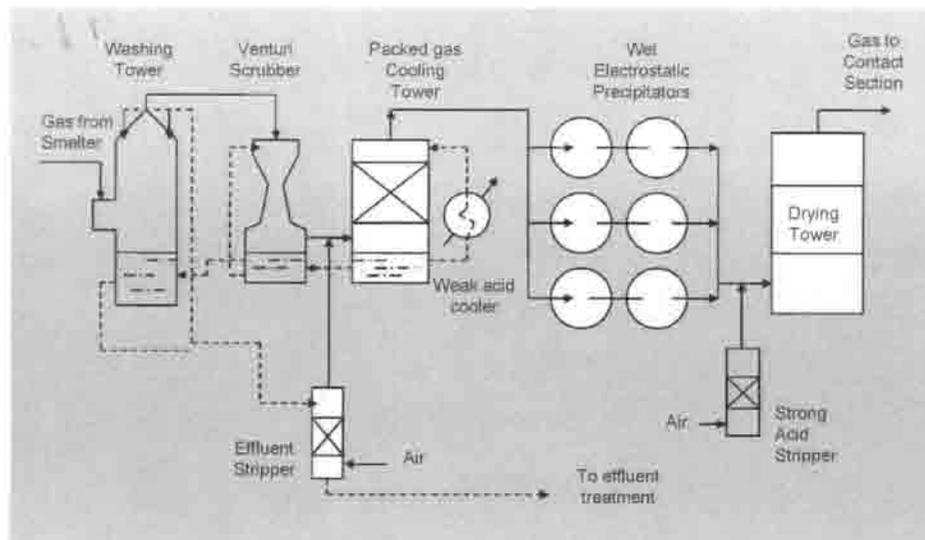
- **Generación de  $\text{SO}_2$** 
  - Combustión de Azufre elemental
  - Sulfuros de metalurgias no-ferrosas (Tostación o Fusión de concentrados piríticos)
  - Ácido sulfhídrico (gas natural y petróleo)
  - Reciclaje de ácido sulfúrico
- **Conversión de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$**
- **Absorción del  $\text{SO}_3$  para formar  $\text{H}_2\text{SO}_4$**

## PLANTAS DE ÁCIDO POR CONTACTO

### LIMPIEZA HÚMEDA DE GASES

- Esta es una etapa previa a la generación de ácido propiamente tal mediante contacto.
- Esta etapa es especialmente necesaria cuando el  $\text{SO}_2$  proviene de tostación de piritas o desde procesos de fusión-conversión.
- Impurezas a eliminar
  - Polvo
  - $\text{As}_2\text{O}_3$
  - Haluros
  - Agua
- Al entrar al convertidor (zona de contacto), el contenido de  $\text{SO}_2$  en los gases es de 10-12% vol. y temperatura 420°C

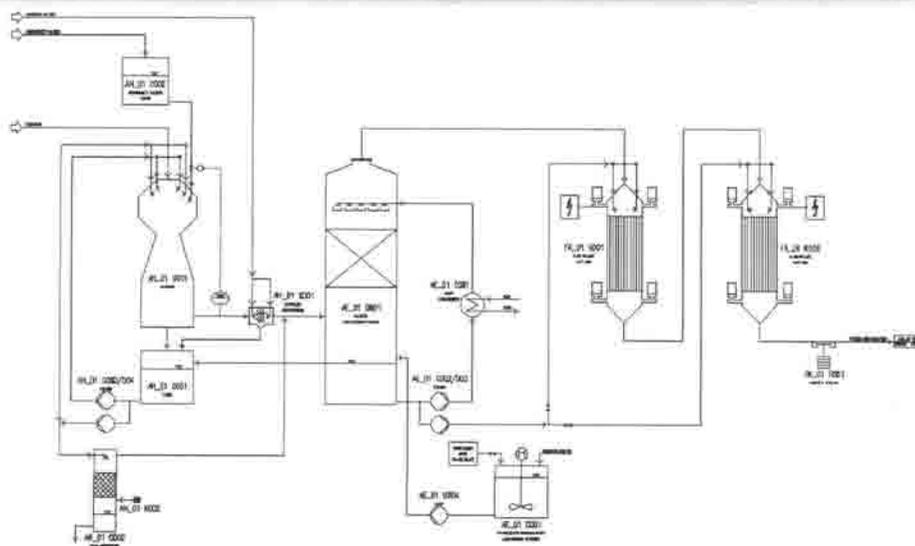
## LIMPIEZA HÚMEDA DE GASES



Esquema típico de planta de limpieza húmeda de gases desde fundición hacia planta de contacto para producir ácido sulfúrico.

**Outotec**  
More out of ore

## LIMPIEZA HÚMEDA DE GASES

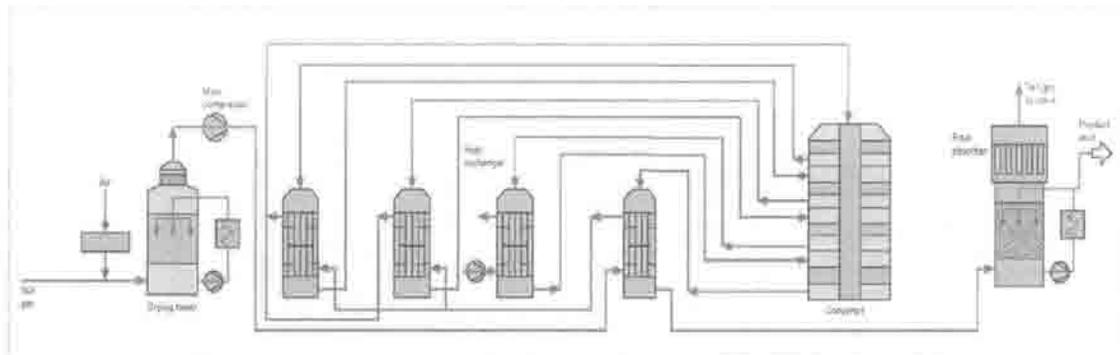


Esquema **OUTOTEC** de planta de limpieza húmeda de gases desde fundición hacia planta de contacto para producir ácido sulfúrico.

**Outotec**  
More out of ore

## PLANTAS DE ÁCIDO POR CONTACTO

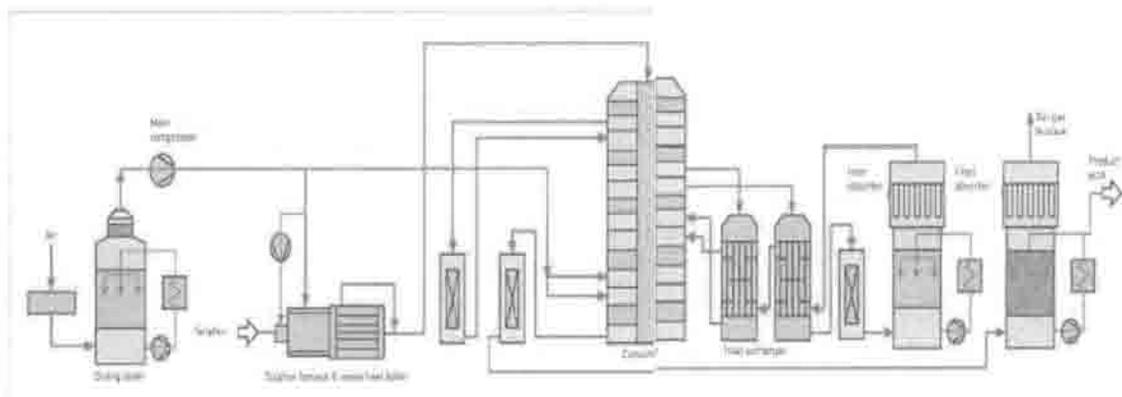
### •Planta de Simple Contacto



**Outotec**  
More out of ore

## PLANTAS DE ÁCIDO POR CONTACTO

### •Planta de Doble Contacto



**Outotec**  
More out of ore

## PLANTAS DE ÁCIDO POR CONTACTO

	Plantas de Ácido	
	Simple Contacto	Doble Contacto
Capacidad	50 a 7.900 t/d	50 a 7.900 t/d
Concentración de SO <sub>2</sub> en los Gases de Entrada	> 2 % vol	> 5 % vol.
Eficiencia de Conversión	98% - 99%	99,5% - 99,8%
Consumo Específico de Energía Enfr.	1 - 1,56 GJ / ton	2 GJ / ton
Consumo Energía Eléctrica	15 - 25 kWh/ ton..	40 - 60 kW / ton
Cantidad Catalizador	200 - 260 L / ton	150 - 200 L / ton

**Outotec**  
More out of ore

## Emisiones en Plantas de Ácido

- Las emisiones de SO<sub>2</sub>(g), SO<sub>3</sub>(g) y vapor de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> representan los principales riesgos ambientales
- En todos los casos, pueden contribuir a la lluvia ácida
- Se toma como referencia de contaminación la cantidad de SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> liberado a la atmósfera, por unidad de producción de ácido sulfúrico
- En escala global, las plantas de producción de ácido sulfúrico no representan la contribución principal a la lluvia ácida
  - **Las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan combustibles fósiles son la fuente principal**

**Outotec**  
More out of ore

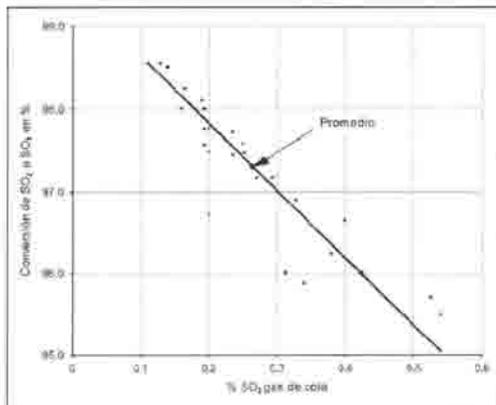
## Emisiones en Plantas de Ácido

EMISIONES TÍPICAS	CAUSAS	Técnicas de Mitigación
<b>SO<sub>2</sub></b>	<p>Baja eficiencia de la Conversión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga de Catalizador</li> <li>- Tipo de Catalizador (convencional vs promovido con Cs)</li> <li>- Pérdida de actividad de catalizador               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Envejecimiento</li> <li>- Envenenamiento</li> <li>- Acumulación de polvo</li> </ul> </li> <li>- Distribución de Gas (por ejemplo, entrada lateral de gas)</li> <li>- Temperatura de entrada de gas no optimizada</li> <li>- Razón O<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub></li> <li>- Fluctuaciones en el flujo de gas o en el contenido de SO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión y mejoramiento del diseño del Convertidor</li> <li>- Revisar cantidad y calidad del catalizador</li> <li>- Respecto de los gases: verificar composición, velocidad a través del catalizador; distribución interna, presión y sistema de refrigeración asociado al convertidor</li> </ul>
<b>SO<sub>3</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala eficiencia de absorción</li> <li>- Presión de vapor del ácido sulfúrico y el ácido am</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar la absorción: Revisión diseño de la o las Torres de absorción (velocidad), distribución del ácido (presión de vapor)</li> </ul>
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño de la Torre</li> <li>- Formación de neblina</li> <li>- Presión de vapor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recolección del escurrido en la misma torre</li> <li>- Revisión del diseño de la torre</li> <li>- Separadores de gotas o filtros de neblina (internos)</li> <li>- Control de Proceso: eficiencia de la torre de secado, Temperatura de entrada del gas en la absorción, contenido de NOx en los gases, presión de vapor del ácido.</li> </ul>

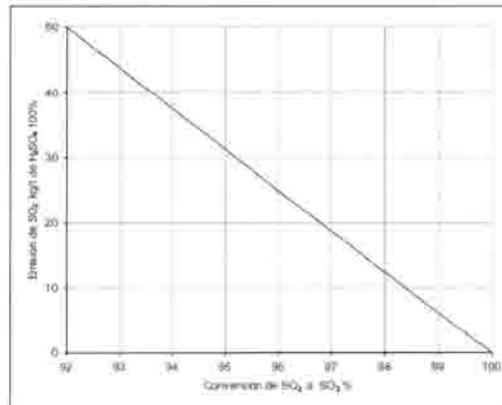
**Outotec**  
More out of ore

## Emisiones en Plantas de Ácido

Estadística general para la emisión de las plantas de ácido:



Relación del rendimiento de conversión del SO<sub>2</sub> en el gas de salida



Emisiones de SO<sub>2</sub> para diferentes rendimientos de conversión (por t de ácido sulfúrico % producido).

**Outotec**  
More out of ore

## Emisiones en Plantas de Ácido

### Normativa Europea de emisiones:

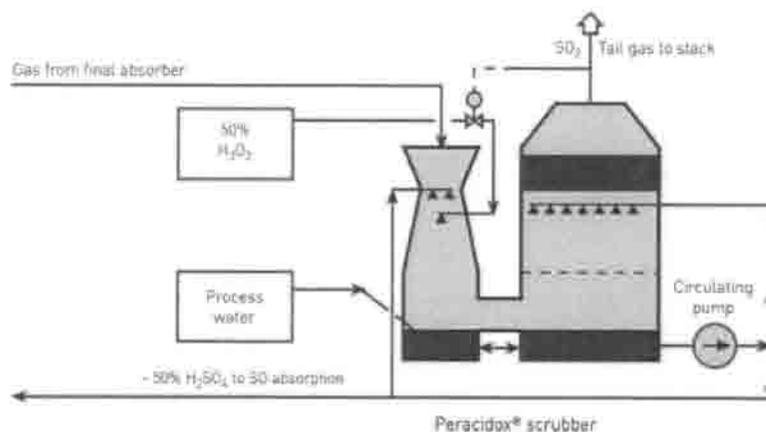
- $\text{SO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 
  - US - EPA: 0,075 kg  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /t acid  
~ 30 - 40 mg  $\text{SO}_3/\text{Nm}^3$
  - Europe: 30 mg  $\text{SO}_3/\text{Nm}^3$  (by authorities)
- $\text{SO}_2$ 
  - US - EPA: 2.0 kg  $\text{SO}_2$ /t  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
~ 250 - 350 ppm v  $\text{SO}_2$   
(~ 99.7 % conversion)
  - Europe: 99.6 - 99.7 % conversion  
authorities 100 - 300 ppm v
- Germany: Mandatory 5 bed or  $\text{H}_2\text{O}_2$  Scrubbing  
Future requirement 99.8 % conversion
- Exceptions during start-up

**Outotec**  
More out of ore

## Tecnologías Outotec para reducir emisiones en Plantas de Ácido

### Reducción de emisiones de $\text{SO}_2$ :

#### PERACIDOX PROCESS



**Outotec**  
More out of ore

Tecnologías Outotec para reducir emisiones en Plantas de Ácido

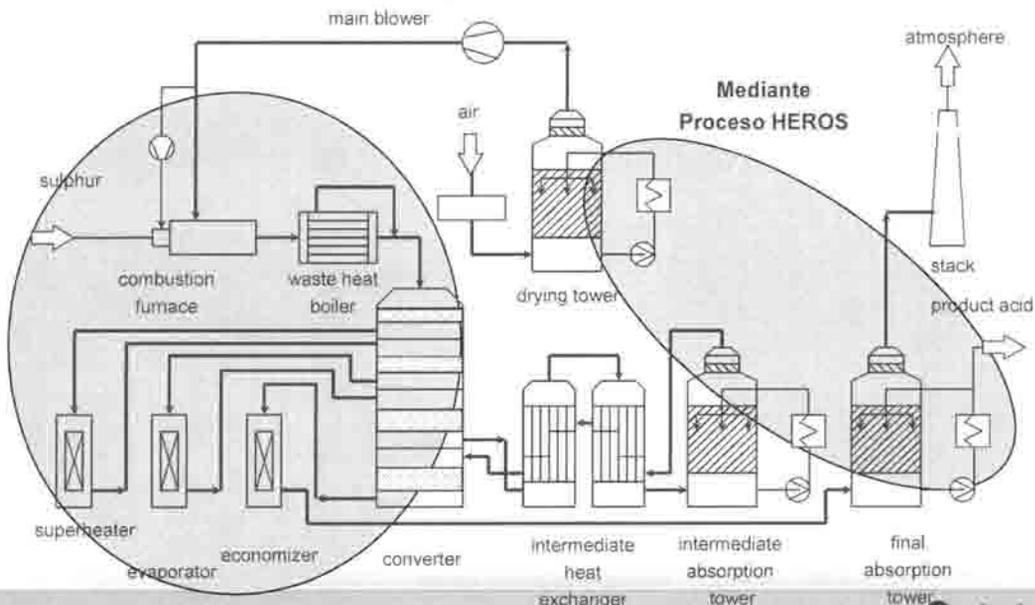


Peracidox Plant - Brazil

Outotec  
More out of ore

Tecnologías Outotec para recuperar energía en Plantas de Ácido

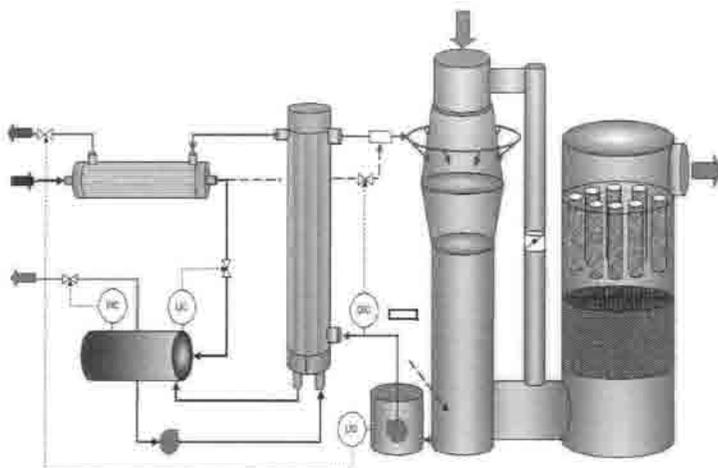
Zonas del proceso donde es posible recuperar energía:



Outotec  
More out of ore

## Tecnologías Outotec para recuperar energía en Plantas de Ácido

### Proceso HEROS

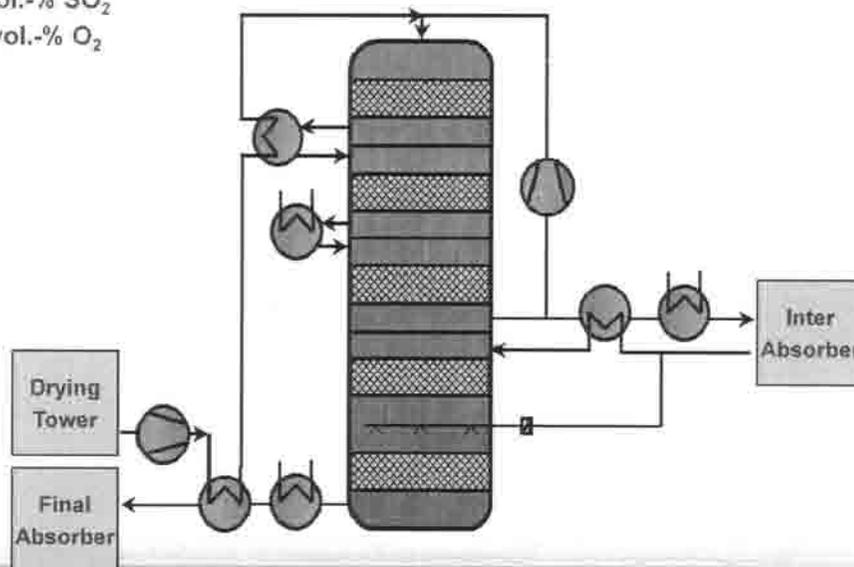


**Outotec**  
More out of ore

## Tecnologías Outotec para operar con altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en Plantas de Ácido

### Proceso LUREC

18 vol.-% SO<sub>2</sub>  
13 vol.-% O<sub>2</sub>



**Outotec**  
More out of ore

## Tecnologías Outotec para operar con altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en Plantas de Ácido

Comparación para planta nueva convencional y LUREC.

Basis 3000 mtpd	12 %-vol. SO <sub>2</sub>	25 %-vol. SO <sub>2</sub>	„LUREC“ Savings (%)
Plant Cost M€ LSTK Germany	30.1	26.4	-13
Power Consumption kWh/t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	55	44	-25
C/W Consumption m <sup>3</sup> /t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37	30	-23
Heat Recovery kWh/t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	123	187	+52
Emission kg SO <sub>2</sub> /t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.70	0.36	-48
Emission kg SO <sub>3</sub> /t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.045	0.016	-64

**Outotec**  
More out of ore.

## REFERENCIAS

Client	Country	Basis	mtpd	Commiss.
Korea Zinc	Australia	Zinc	1155	1999
Oswal Fertilizer	India	Sulphur	2 x 3500	2000
Codelco Salvador	Chile	Copper	1880	1999
Western Mining Fert.	Australia	Copper/Sulphur	4200	1999
MetMex Penoles	Mexico	Zinc Revamp	1160	2000
Cajamarquilla	Peru	Zinc	770	1999
Rontealde	Spain	Sulphur Revamp	940	2000
Nordd. Affinerie	Germany	Copper Revamp	3 x 1300	2000
Fertiberia	Spain	Sulphur	2400	2000
Asturiana de Zinc	Spain	Zinc	900	2001
Yong Poong	Korea	Zinc	1120	2001
Anaconda Nickel	Australia	Sulphur	7900	basic design
Union Minière Pirdop	Bulgaria	Copper	1940	2002
Altonorte, Noranda	Chile	Copper	2200	2003
Inoo, Goro Nickel	New Caledonia	Sulphur	4800	2007
Hindustan Zinc	India	Zinc	900	2006
Bagfas	Turkey	Sulphur	1650	2004
CF-Chem	Switzerland	Sulphur	240	2004
Umicore	Belgium	Copper	525	2005
Suez Fertilizer	Egypt	Sulphur	1200	2006
Yanggu Copper	China	Copper	2200	2006
Codelco El Teniente	Chile	Copper Revamp	1300	2007
Ma'aden Fertilizer	Saudi Arabia	Sulphur	3 x 4500	2009
Xstrata Altonorte	Chile	Copper	2200	2008

**Outotec**  
More out of ore.

# REFERENCIAS



## 1) Planta de Ácido Altonorte

Ubicación: Altonorte / Chile  
 Process: Gases metalúrgicos de fundición de concentrados de cobre, simple absorción.  
 Capacidad de la Planta: 2202 mtpd (752 M Va)  
 Comisionamiento: 2003  
 Comentarios: Planta Nueva / LSTK. Nuevo proyecto adjudicado el OT. Duplicación de la planta año 2007



## 2) Planta de Ácido Salvador

Ubicación: Salvador / Chile  
 Process: Gases metalúrgicos de fundición Paipote de concentrados de cobre, simple absorción.  
 Capacidad de la Planta: 1.880 mtpd  
 Comisionamiento: 1999  
 Comentarios: Planta Nueva / LSTK, ubicada a 3.400 m. de altura



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



"Reunión sobre tecnologías y costos - Norma de Fundiciones"

Lugar: Agustinas 1161 - Piso 4

Hora inicio: 12:00

Hora termino: 13:30

Santiago, 22 de Agosto del 2011

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TELEFONO	EMAIL	FIRMA
1.	PRISCILLA ULLOA	MMA	2405787	pulloa@mma.gob.cl	
2.	Carmen G. Contreras F.	MMA Ambiente	.	cgcontreras@mma.gov.cl	
3.	M <sup>a</sup> José Rodríguez	GEOTIRE	2093838	jrodriguez@geotire.cl	
4.	FRANCISCO DONOSO G.	MMA	2411880	FDONOSO6@MMA6080	
5.	PEDRO SANTIIC	COCHILCO-MIM	3828213	PSANTIIC@COCHILCO	
6.	Fernando Flores M.	Smeltec S.A.	9-8846935	feb-flores.mauricio@gmail.com	
7.	Pedro Vallejos B.	Min. de Economía	4733827	pvallejos@economia.cl	
8.	Alpio Demetrio	Smeltec	93288593	alpio.demetrio@smeltec.cl	

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TELEFONO	EMAIL	FIRMA
9.	LEONARDO DEMETRIO	SMELTEC S.A.	98173920	leonardo.demetrio @smeltec.cl	
10.	Claudio Godas	COPRIM SA	5710005	clodds@coprim.cl	
11.	M <sup>°</sup> DE LA LUZ VASQUEZ	FINAN. MILITARIA	4433049	mvasquez@minsa.cl	
12.					
13.					
14.					
15.					
16.					
17.					
18.					
19.					
20.					
21.					