

## Completed installation

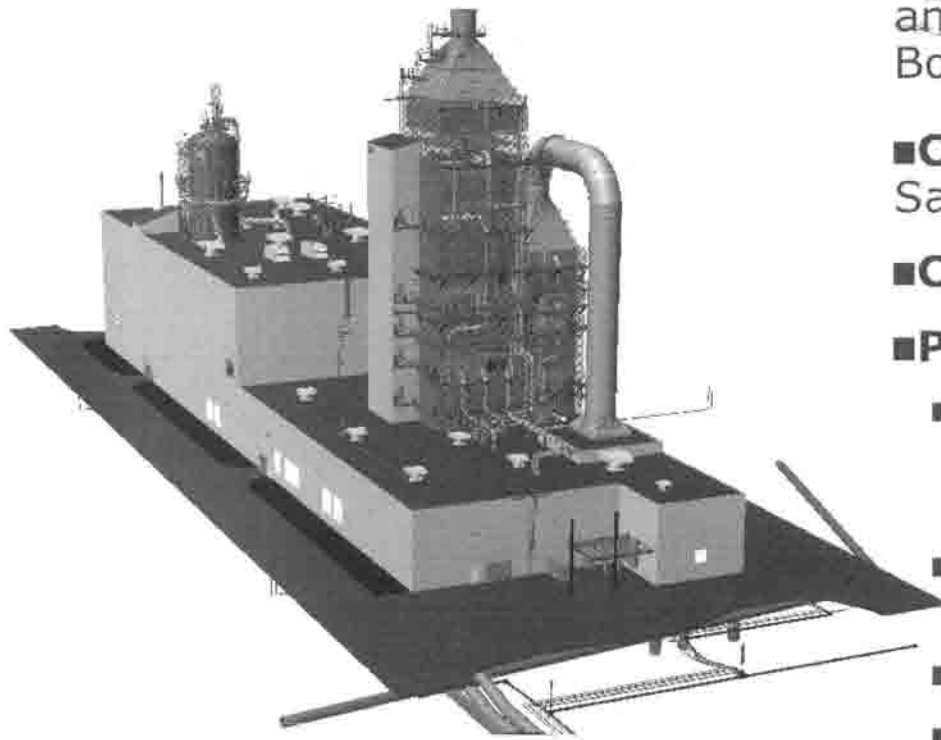


**Cansolv**

0562

# SaskPower 150 MW Carbon Capture Project

0562 VTA



■ **Project:** Integrated Carbon Capture and Sequestration (ICCS) Project Boundary Dam

■ **Client:**  
SaskPower Corporation

■ **Construction started May 2011**

■ **Project Outline:**

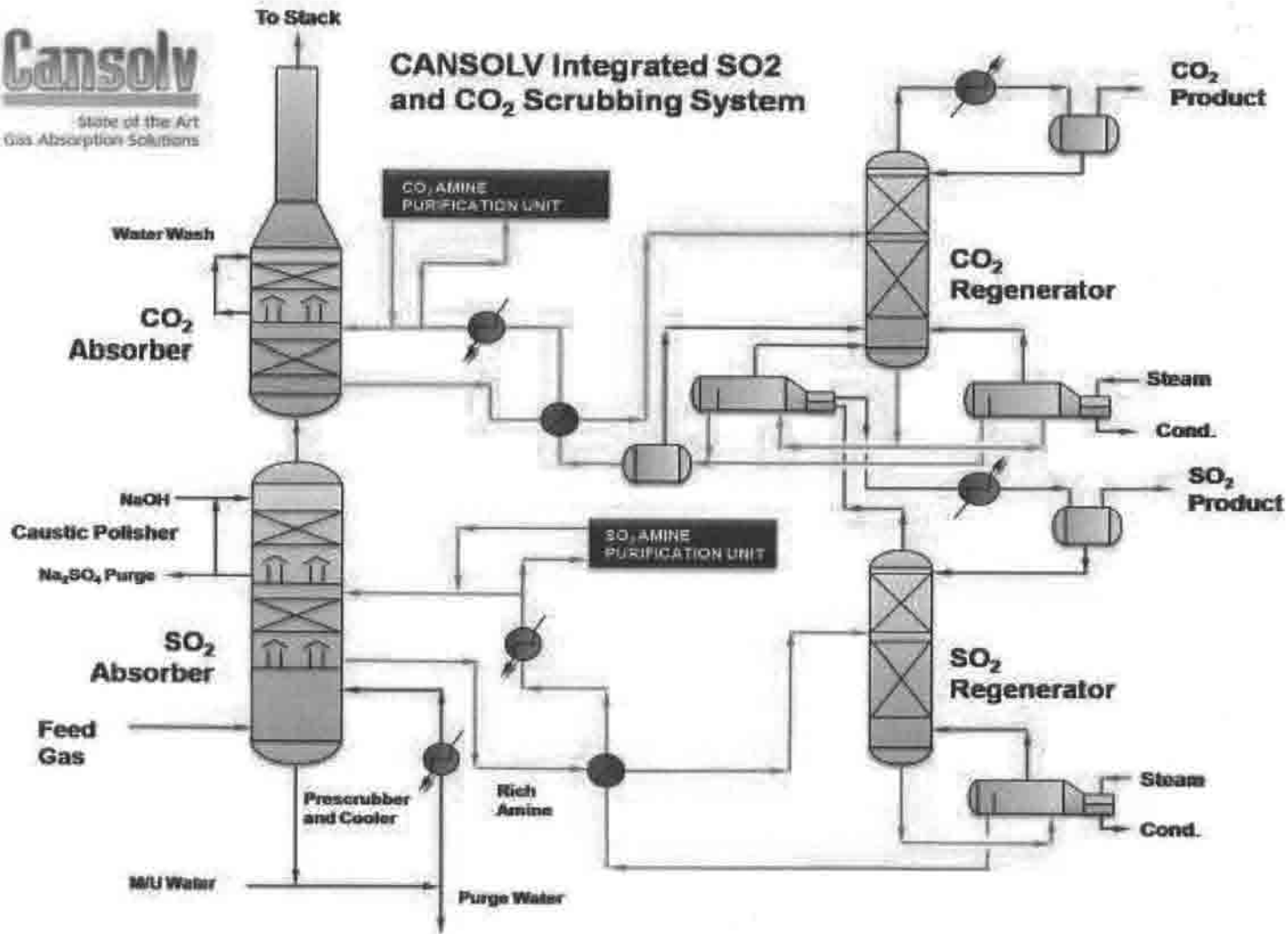
- Flue gas CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> flue gas capture from Unit#3 of the Boundary Dam Power plant.
- Capture capacity of 3,500 metric tons/day CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> use: Enhanced Oil Recovery
- SO<sub>2</sub> converted to sulfuric acid

■ **Scope of Services:**

Front End Engineering Design phase (FEED), Engineering Procurement Construction (EPC), Commissioning, Operator Training

# The Capture System Flowsheet

**Cansolv**  
State of the Art  
Gas Absorption Solutions



**Cansolv**

0563

Current Construction Photo (December 2011)



0563 VTA

## Back-Up Slides

Chemistry?

0504 VTA

Cansolv



## •PROCESS CHEMISTRY

- Aqueous diamine solvent solution
- Buffering provides high capacity for SO<sub>2</sub> absorption
- Proprietary solvent has the proper absorption/desorption strength
- Solvent amine is non-volatile since it is always in salt form
- Regeneration provides pure, water saturated SO<sub>2</sub> as byproduct

PROCESS CHEMISTRY- SO<sub>2</sub> Amine Systems

Eqns. 1 + 2

•Reversible hydration and ionization

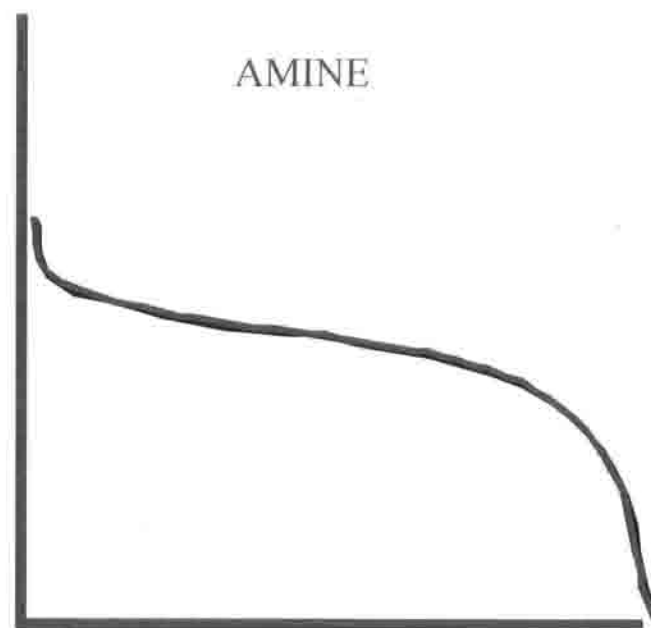
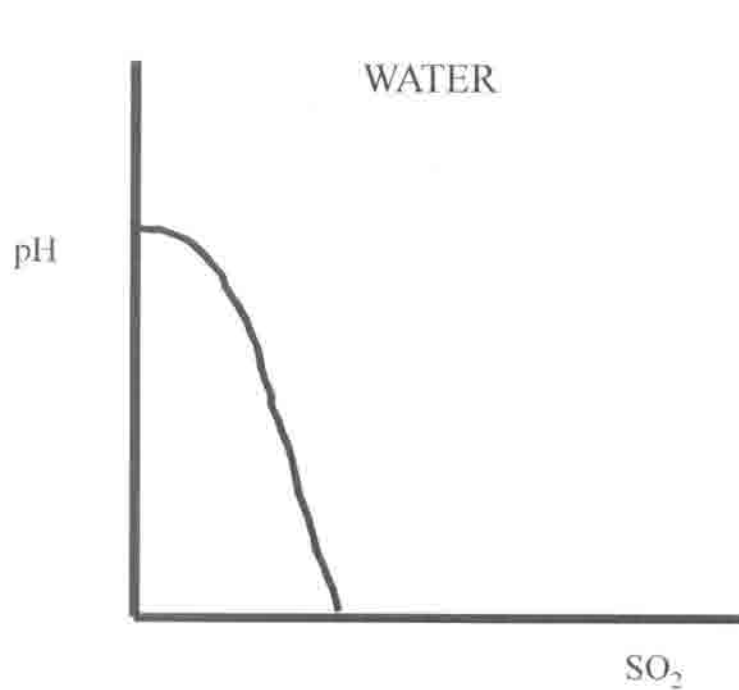
Eqn. 3

The amine acts as a buffer

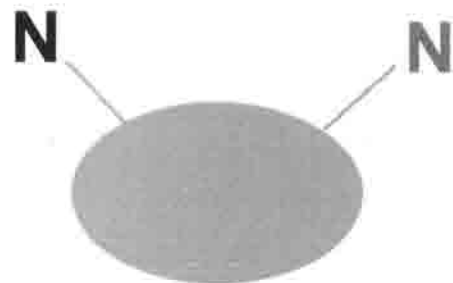
Forms amine salts



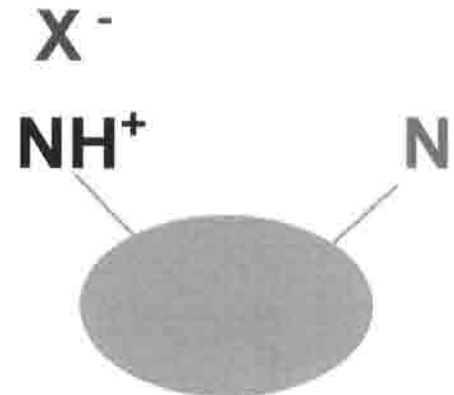
# PROCESS CHEMISTRY



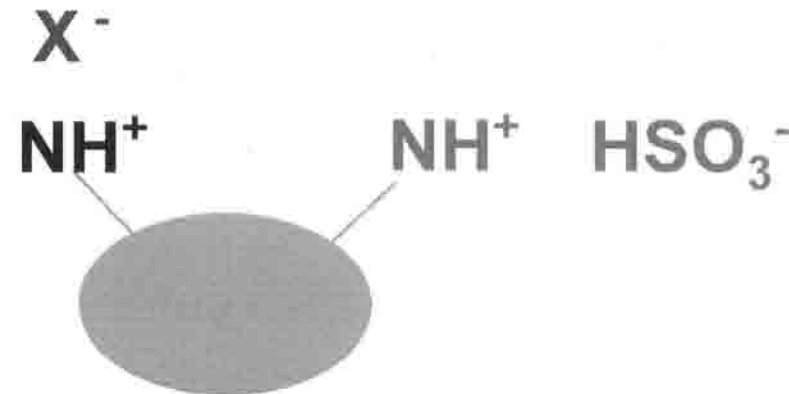
# AMINE ABSORBENT



FREE DIAMINE



LEAN AMINE



RICH AMINE

**N** : Strongly basic amine functionality  
**N** : "Sorbing nitrogen"  
**X<sup>-</sup>** : Strong acid anion  
**HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Absorbed SO<sub>2</sub>

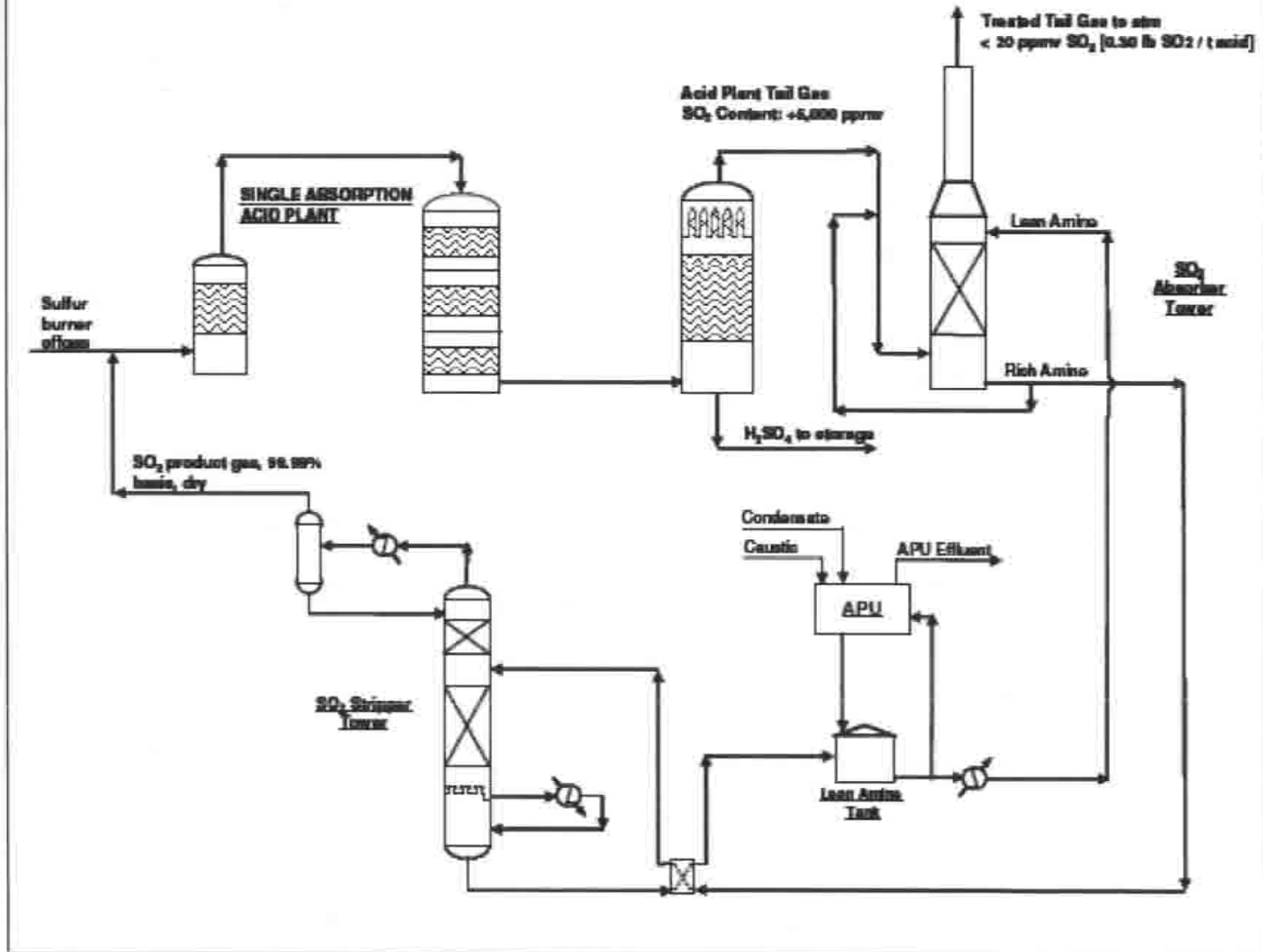


## AMINE ABSORBENT

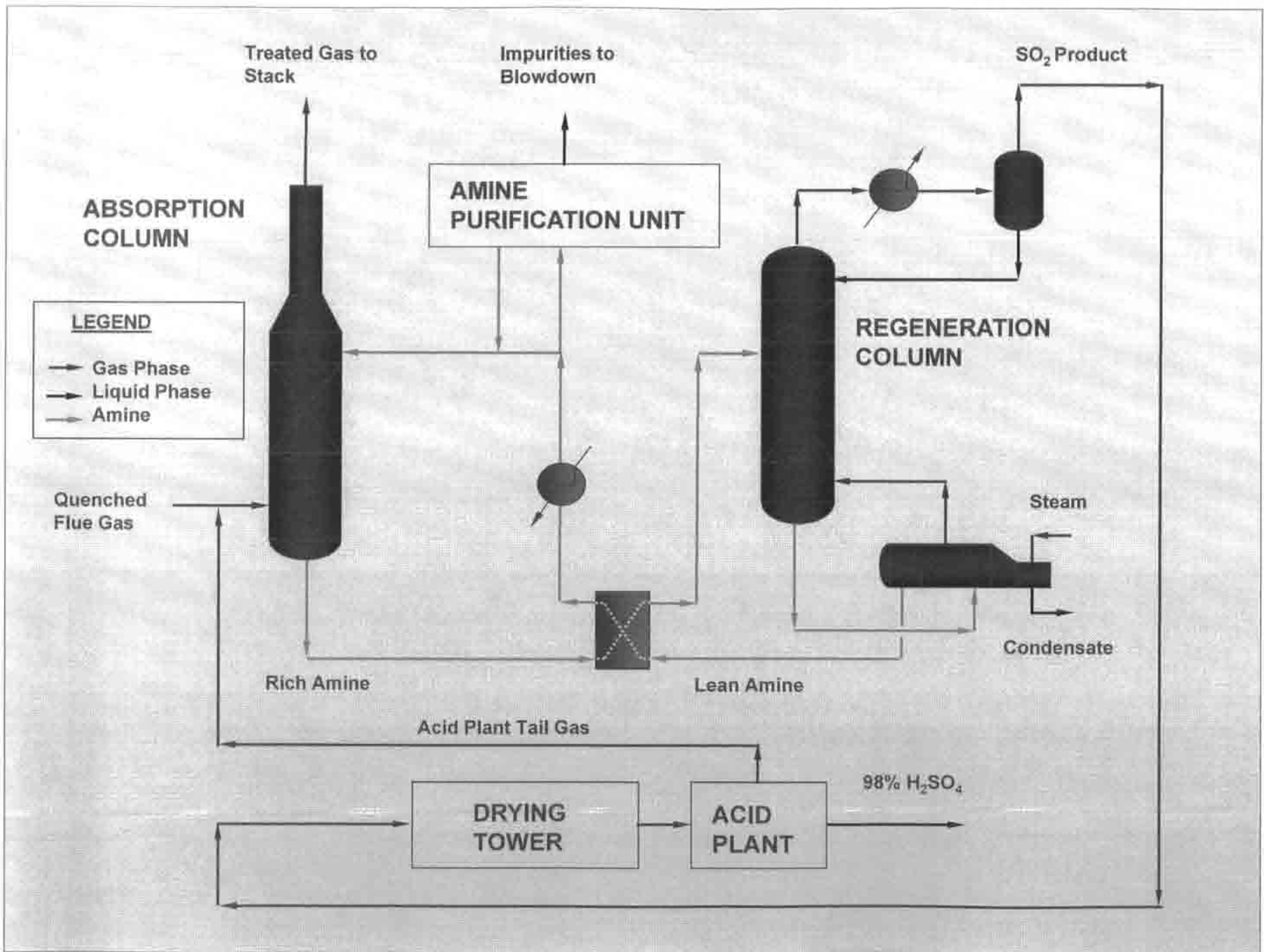
- The unique diamine absorbent is the key to the *CANSOLV® SO<sub>2</sub> Scrubbing System* technology
- The first amine group is always in salt form providing absorbent non-volatility
- The second amine has the optimum strength for balanced absorption and regeneration

# Flowsheets

## Cansolv® SO<sub>2</sub> SCRUBBING SYSTEM – Treatment of Sulfuric Acid Plant Tail Gas

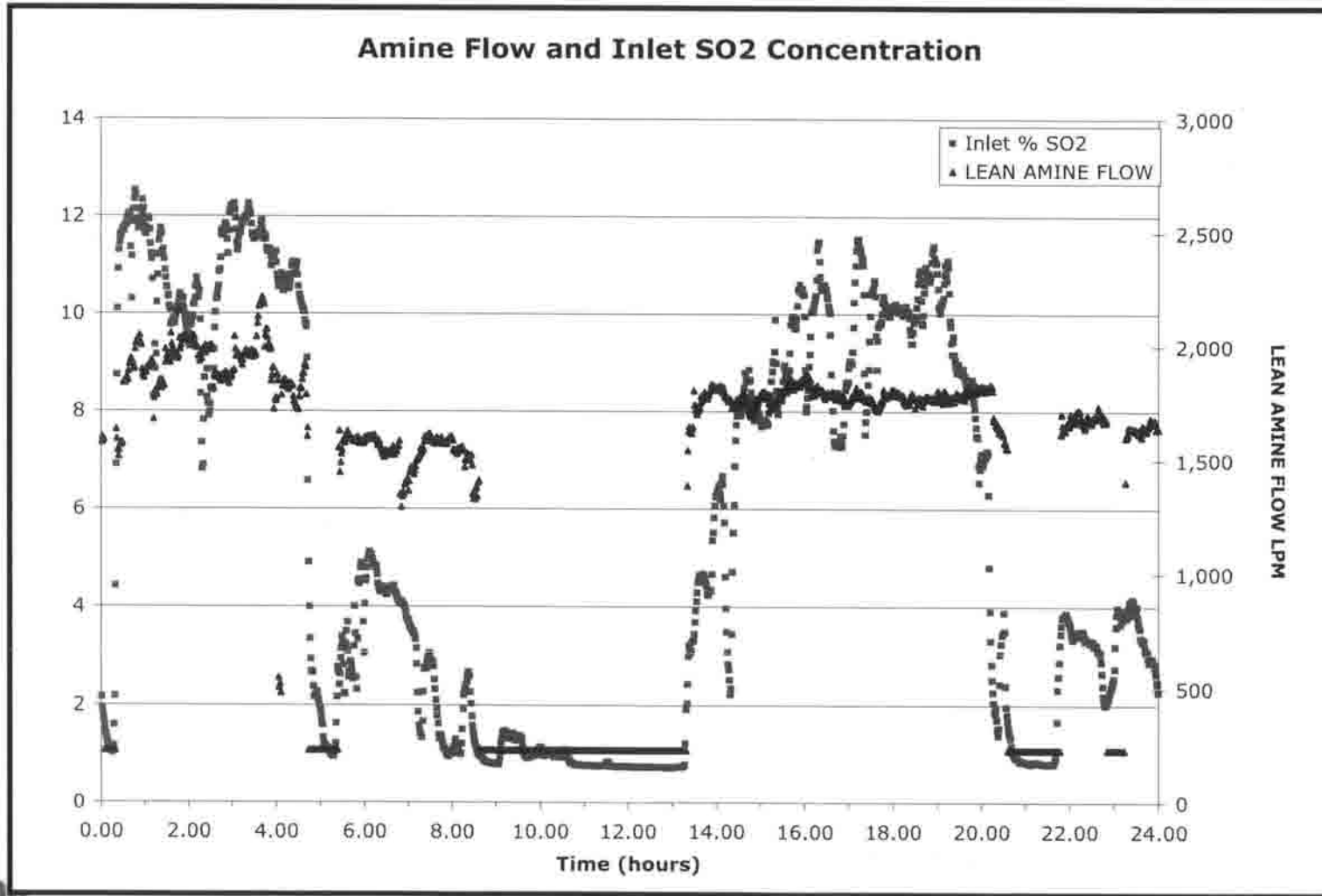


0567 VTA



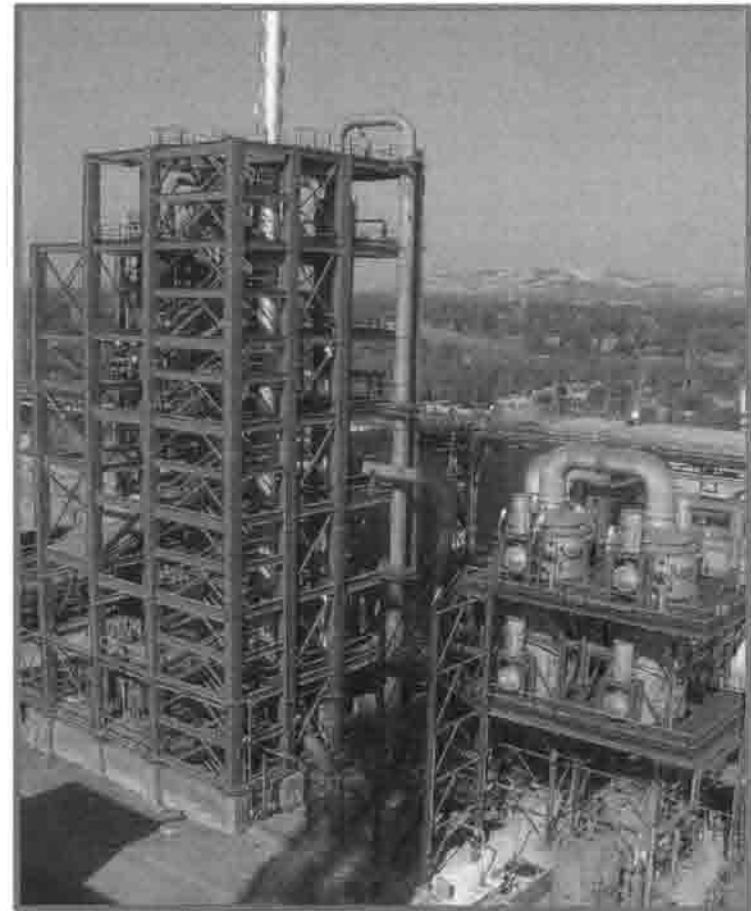
# Lean Amine Flowrate Variation with Inlet SO<sub>2</sub> Concentration

0568 VTA



## Case Study #2 – Zinc Smelter Off-Gas

- Major base metal producer in India
- Operations include exploration, mining, smelting & refining:
  - Lead, zinc, copper, cadmium, cobalt, precious metals
- Highly variable off-gas: 25,000 Nm<sup>3</sup>/hr, 0.1%-12%
- Load Leveling allows optimal design and delivery of a steady feed to existing Acid Plant
  - Absorber designed to accommodate operation fluctuations, liquid flow adjusted accordingly
  - Regenerator sized for constant, steady flow
- SO<sub>2</sub> flowrate to acid plant: 4,900 kg/hr
- SO<sub>2</sub> Emissions < 100 ppmv



0569

## Design Considerations

0509 VTA

- Expansion strategy at Lead Zinc Smelter to double the hydrometallurgical zinc processing capacity
- Construction of a new lead smelter (Ausmelt top submerged lance technology) from 50,000 to 100,000 t/yr
- Operations include exploration, mining, smelting & refining:
  - Lead, zinc, copper, cadmium, cobalt, precious metals
- Increased Sulphuric Acid plant from 600 to 750 t/d - installed better and more catalyst, more packing in absorption & drying towers
- Smelter batch operation from top submerged lance technology
  - Primary feed is lead sulphide concentrate
  - Total batch time: 11 hrs
  - SO<sub>2</sub> concentration varies from 1000 ppmv to 12%
- Four periods per batch-cycle
  - smelting - Slag Reduction - Slag Cleaning - Lance



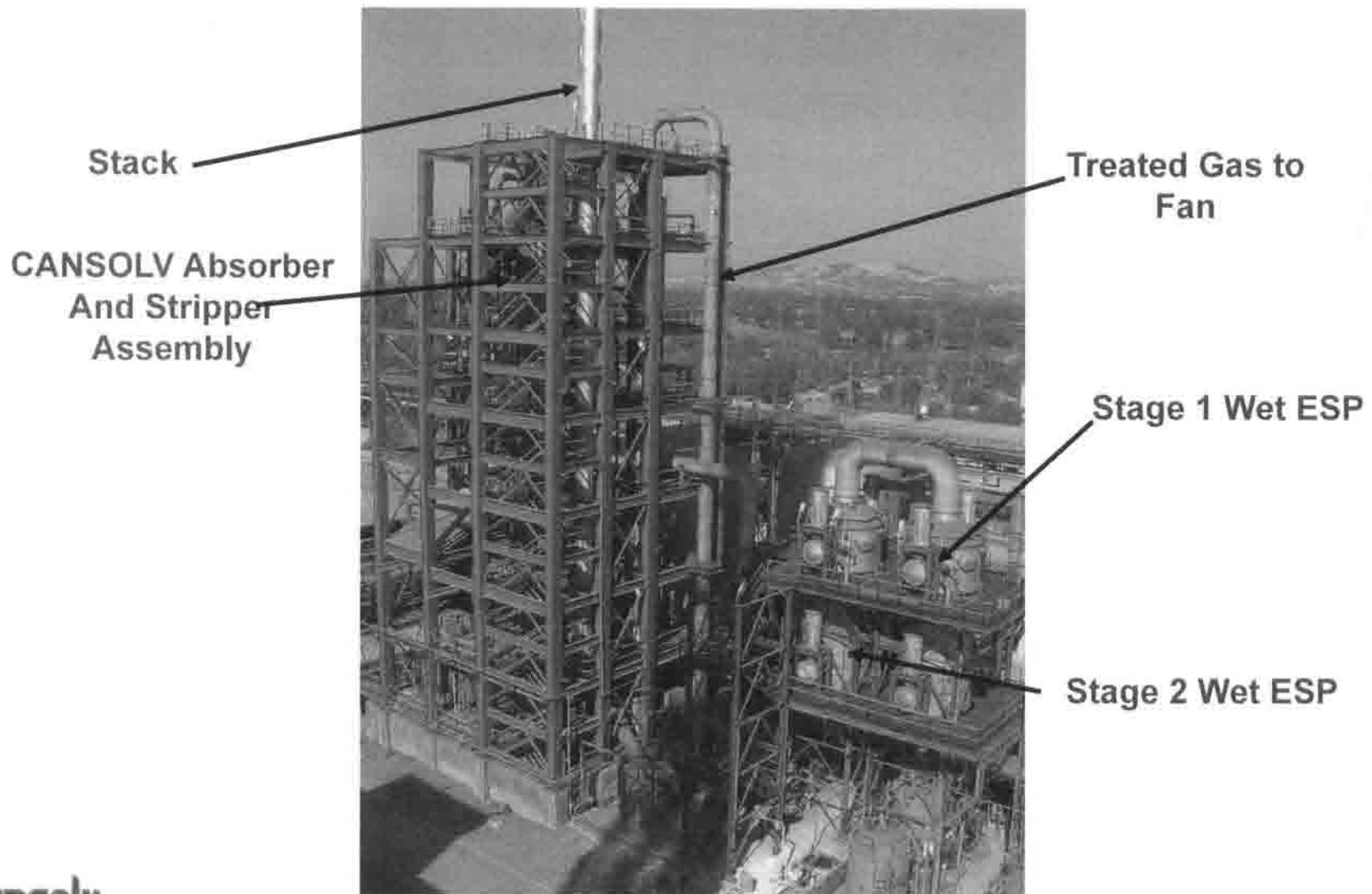
# Load-Leveling Cansolv<sup>®</sup> SO<sub>2</sub> Scrubbing System

- Able to negotiate varying levels of inlet SO<sub>2</sub>
- Lean and Rich Solvent Storage tanks act as buffers
- Continual absorption of SO<sub>2</sub> with constant feed to Regeneration section & continuous, steady feed of SO<sub>2</sub> to acid plant
- Minimized Acid plant cost due to optimal & steady feed

## Gas Pre-treatment (prior to Cansolv unit)

- Heat Recovery in Waste Heat Boiler
- Dust Recycle from Hot ESP
- Gas Cooling and Cleaning with Quench Tower & Packed Cooling Tower
- Final Dust and Acid Mist Removal in Wet ESP

# The Plant



# The Plant, con't

0571 VTA

Wet ESP

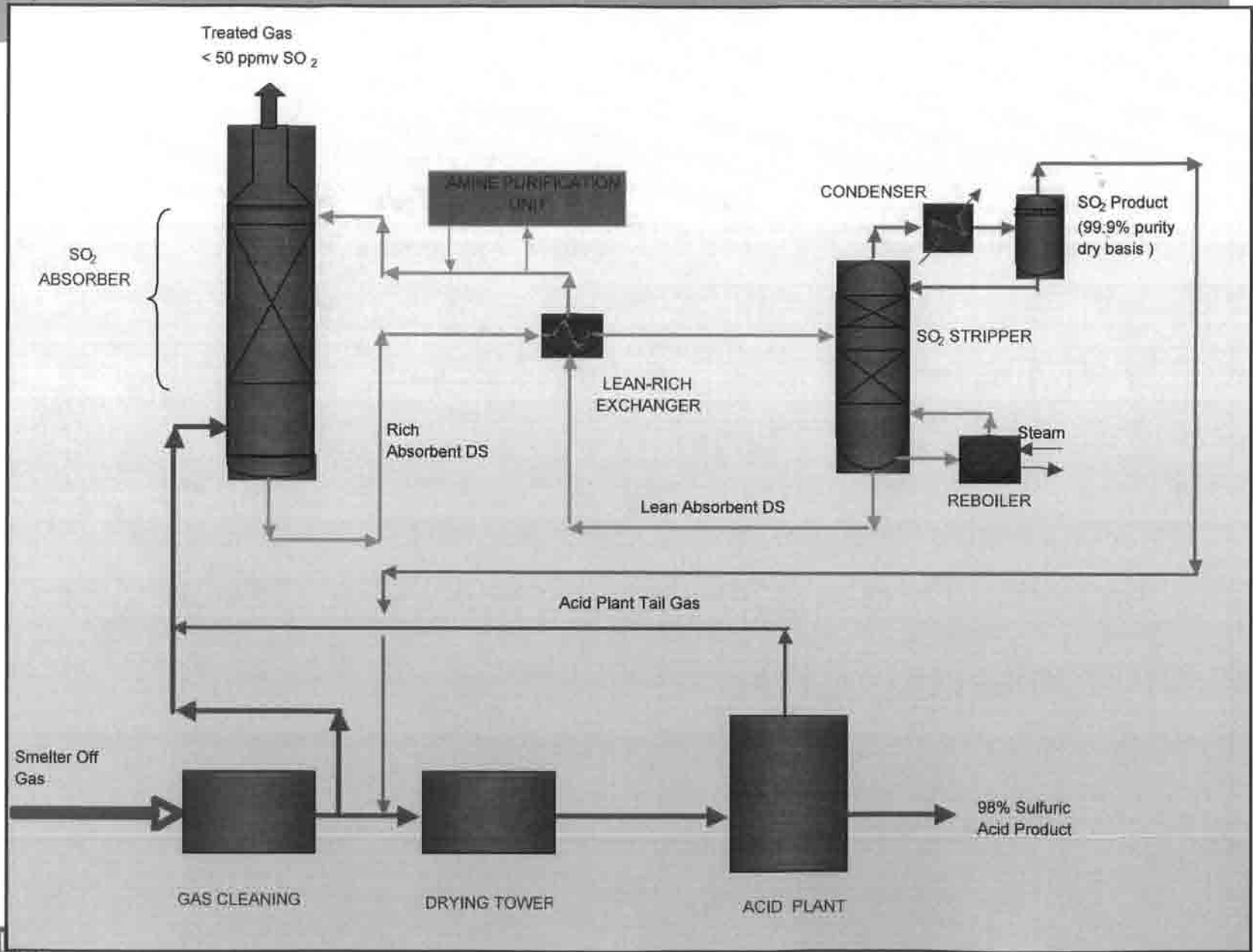


Packed  
Cooling Tower

Quench Tower

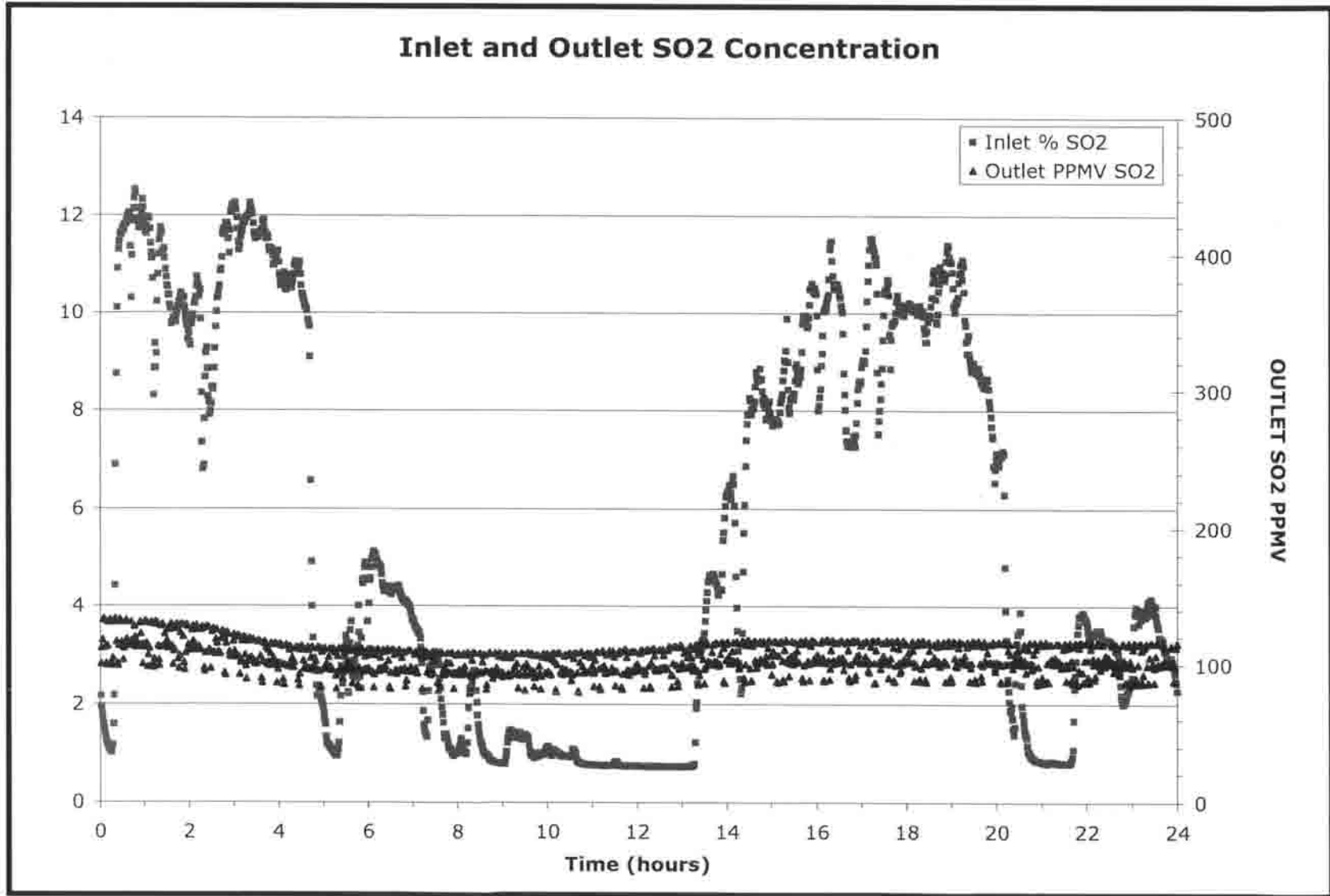
Cooling Tower  
Purge SO<sub>2</sub>  
Stripper

# Simplified Cansolv PFD:

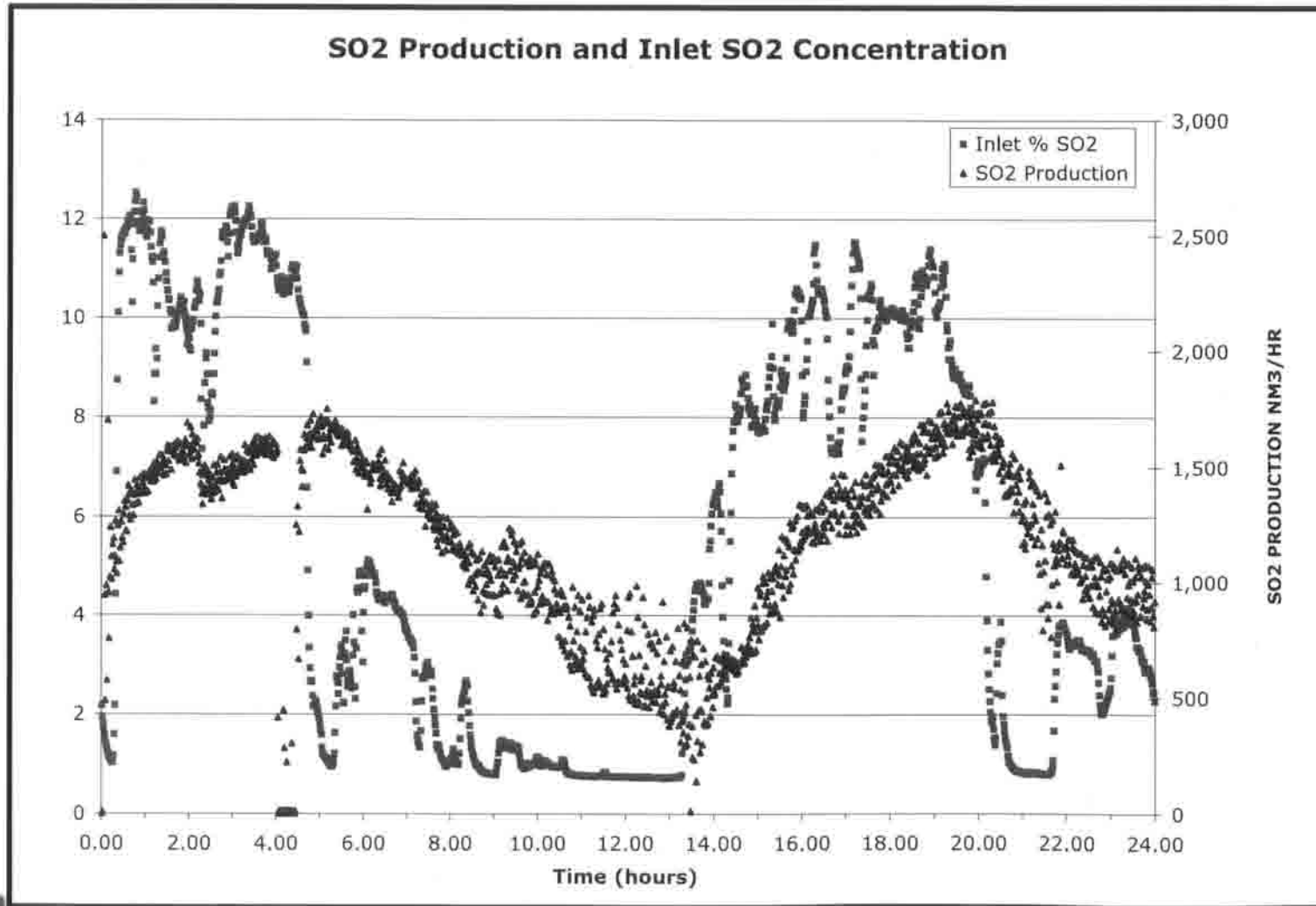


# SO<sub>2</sub> profile

0572 VTA



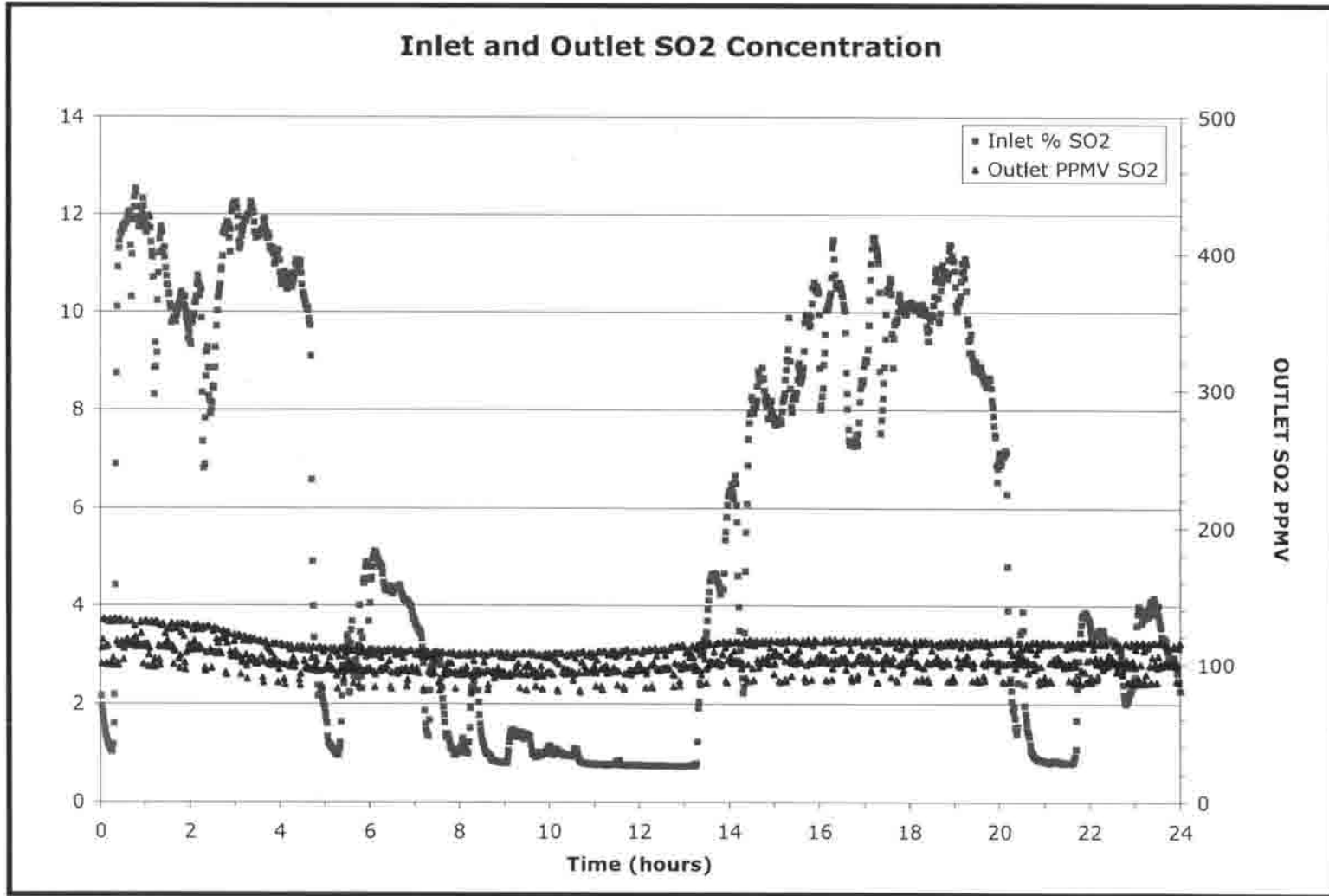
# HZL Inlet SO<sub>2</sub> Concentration and SO<sub>2</sub> Delivery



0573

# Example: SO<sub>2</sub> in, SO<sub>2</sub> Out

0573 VTA



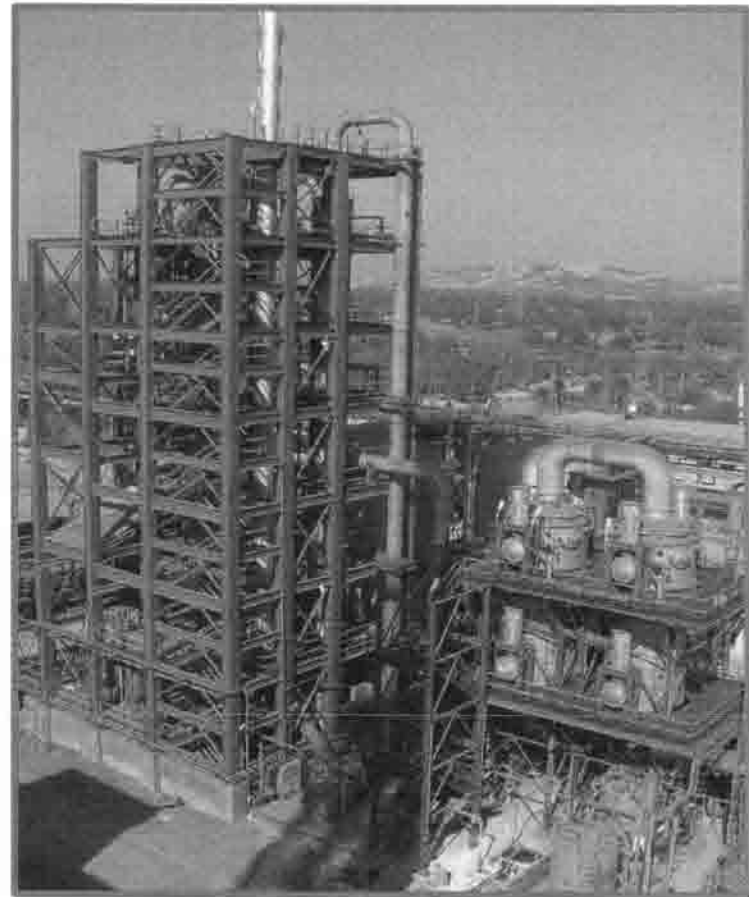




## Case Study #2 – Zinc Smelter Off-Gas

0574 VTA

- Major base metal producer in India
- Operations include exploration, mining, smelting & refining:
  - Lead, zinc, copper, cadmium, cobalt, precious metals
- Highly variable off-gas: 25,000 Nm<sup>3</sup>/hr, 0.1%-12%
- Load Leveling allows optimal design and delivery of a steady feed to existing Acid Plant
  - Absorber designed to accommodate operation fluctuations, liquid flow adjusted accordingly
  - Regenerator sized for constant, steady flow
- SO<sub>2</sub> flowrate to acid plant: 4,900 kg/hr
- SO<sub>2</sub> Emissions < 100 ppmv



## Design Considerations

- Expansion strategy at Lead Zinc Smelter to double the hydrometallurgical zinc processing capacity
- Construction of a new lead smelter (Ausmelt top submerged lance technology) from 50,000 to 100,000 t/yr
- Operations include exploration, mining, smelting & refining:
  - Lead, zinc, copper, cadmium, cobalt, precious metals
- Increased Sulphuric Acid plant from 600 to 750 t/d - installed better and more catalyst, more packing in absorption & drying towers
- Smelter batch operation from top submerged lance technology
  - Primary feed is lead sulphide concentrate
  - Total batch time: 11 hrs
  - SO<sub>2</sub> concentration varies from 1000 ppmv to 12%
- Four periods per batch-cycle
  - smelting - Slag Reduction - Slag Cleaning - Lance

## Load-Leveling Cansolv<sup>®</sup> SO<sub>2</sub> Scrubbing System

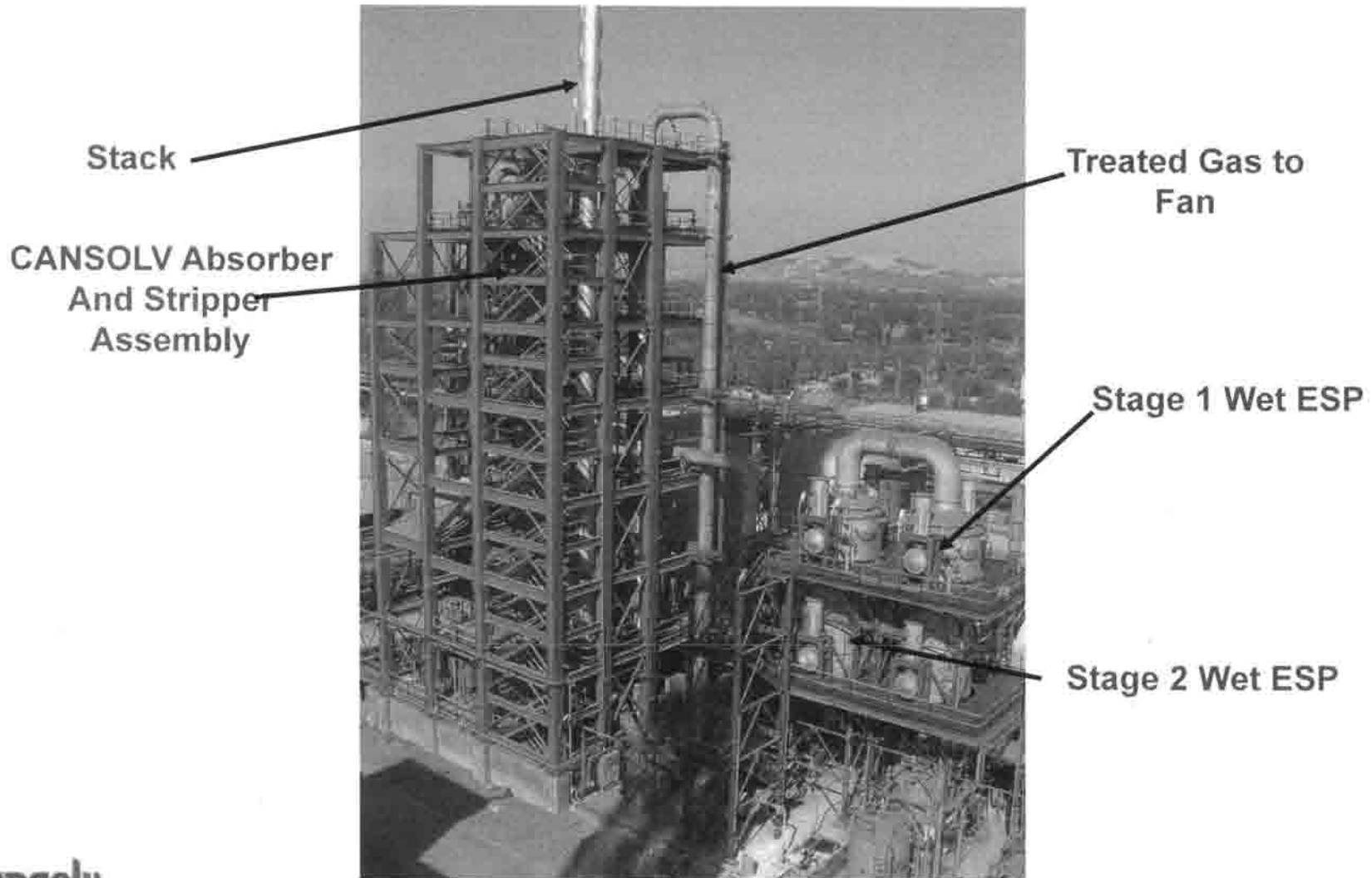
- Able to negotiate varying levels of inlet SO<sub>2</sub>
- Lean and Rich Solvent Storage tanks act as buffers
- Continual absorption of SO<sub>2</sub> with constant feed to Regeneration section & continuous, steady feed of SO<sub>2</sub> to acid plant
- Minimized Acid plant cost due to optimal & steady feed

## Gas Pre-treatment (prior to Cansolv unit)

- Heat Recovery in Waste Heat Boiler
- Dust Recycle from Hot ESP
- Gas Cooling and Cleaning with Quench Tower & Packed Cooling Tower
- Final Dust and Acid Mist Removal in Wet ESP

# The Plant

0576 VTA



# The Plant, con't

Wet ESP



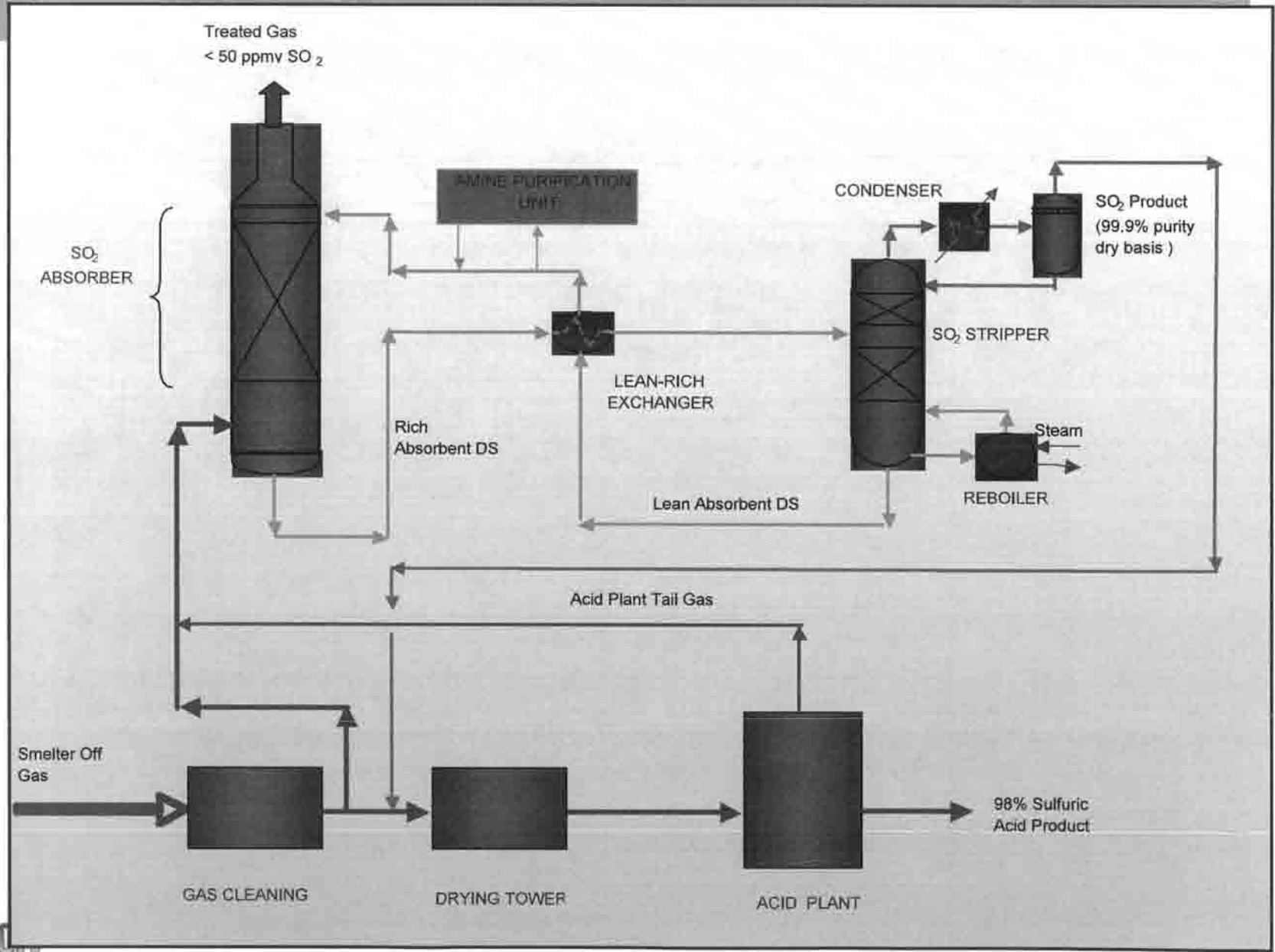
Packed  
Cooling Tower

Quench Tower

Cooling Tower  
Purge SO<sub>2</sub>  
Stripper

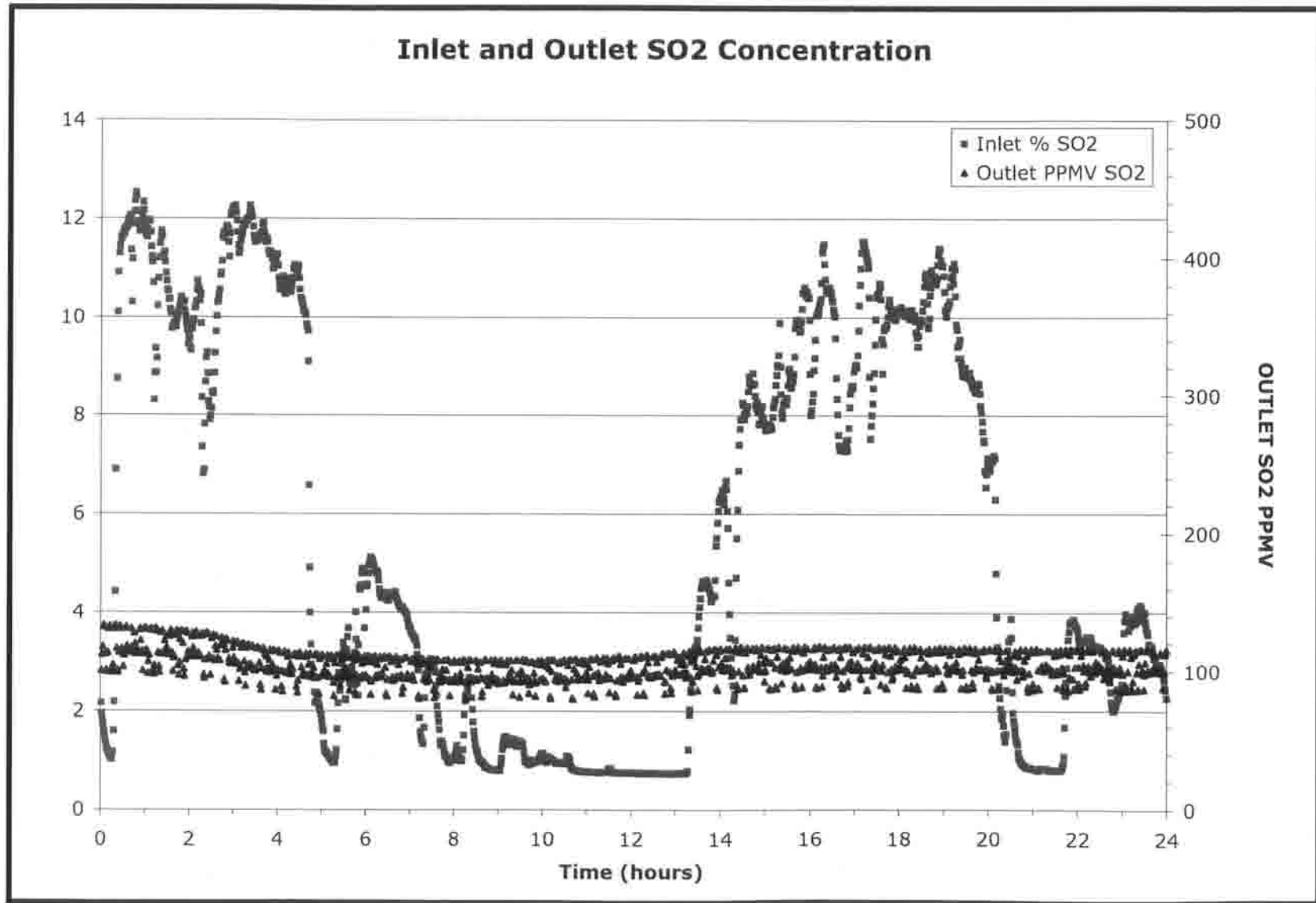
# Simplified Cansolv PFD:

0577 VTA



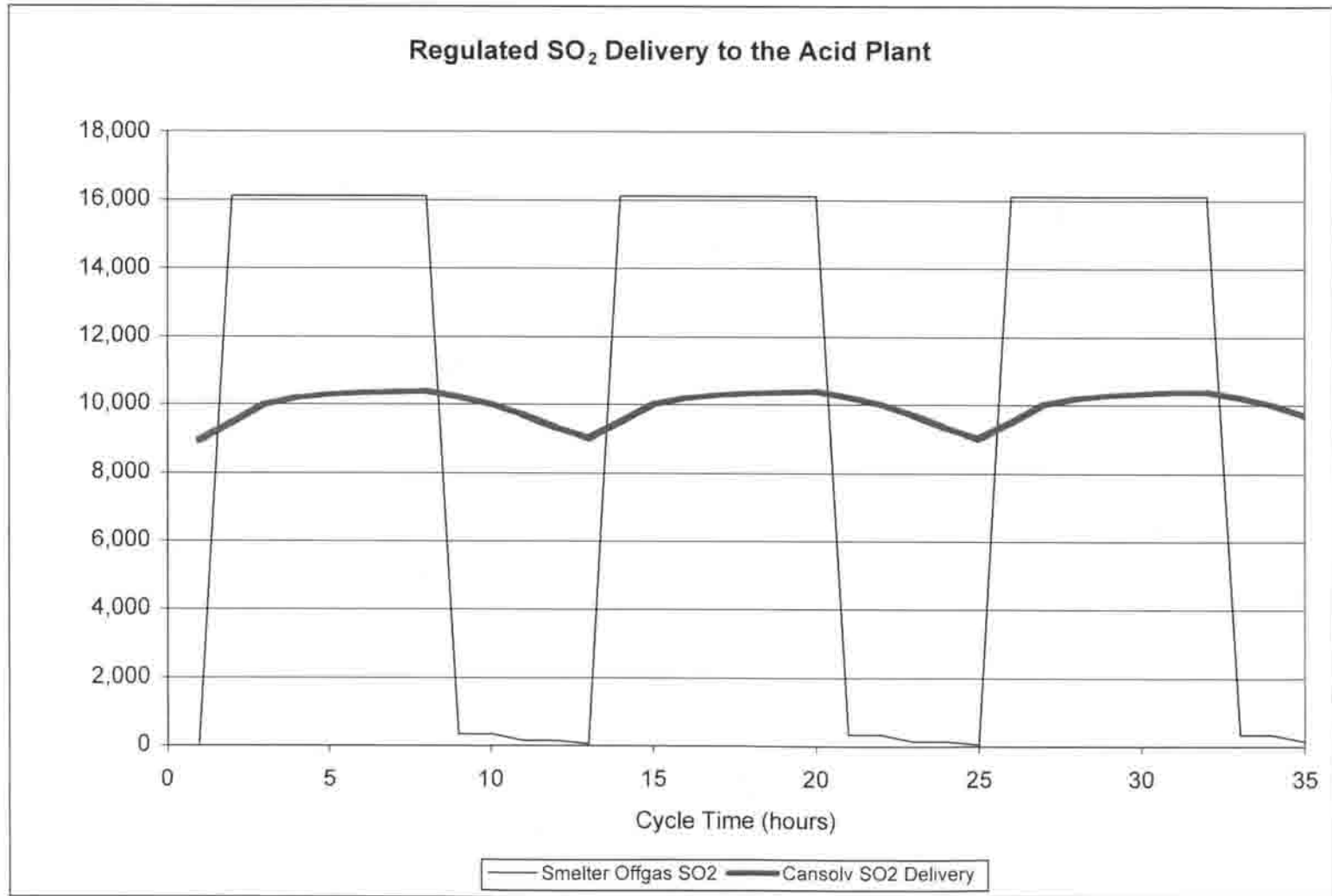


# SO<sub>2</sub> profile



# Offgas vs SO<sub>2</sub> delivery

0578 VTA



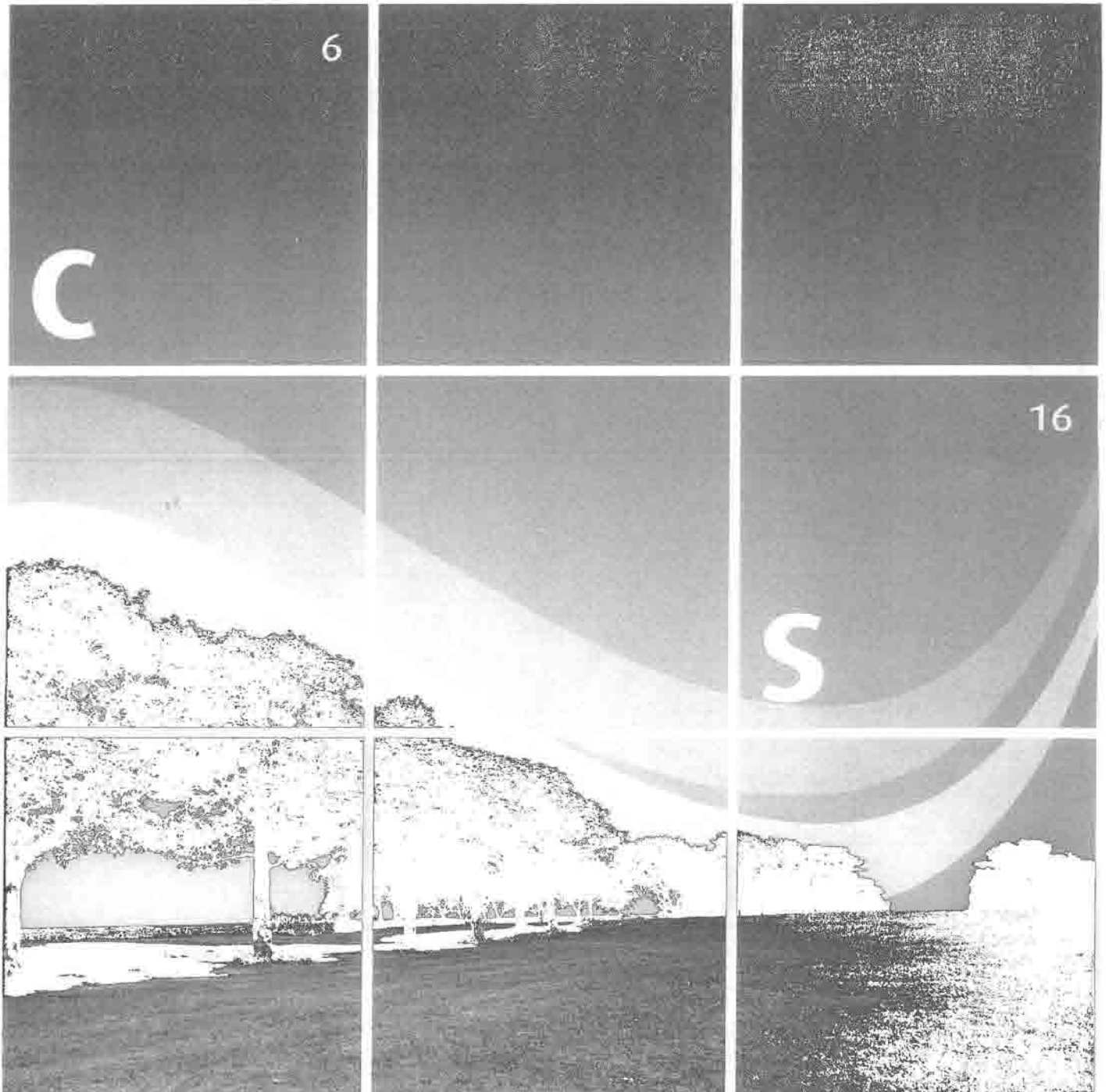
## Cansolv Versus Alkali FGD's

- Advantage 1: Significantly Lower Liquid Effluent produced
- Advantage 2: Usable ( $\text{SO}_2$  for leaching) or salable ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) by-product options, rather than a landfill waste such as gypsum or sodium sulfate
- Advantage 3: Ability to meet better Emissions reduction targets
- Advantage 4: Smaller Plot-Space requirements
- Advantage 5: Regenerable technology means significantly reduced consumable Reagent(s)
  - Reduction in costs and transportation obligations

0580

**Cansolv**

State of the Art  
Gas Absorption Solutions



Cansolv Technologies Inc.

\*Información disponible en:

[www.cansolv.com](http://www.cansolv.com)



Reunión: "ESTUDIO BENEFICIOS NORMA FUNDICIONES"

Lugar: Teatinos 258 - Sala 5 Piso 2.

Hora inicio: 9<sup>30</sup> hrs

Hora termino: 11<sup>00</sup> hrs

Santiago, 23 de enero del 2012.

Nombre	Institución	Firma
José Rodríguez	GeoAire	<i>José Rodríguez</i>
Mónica Tomblance	GeoAire	<i>Mónica Tomblance</i>
Pedro Sanhueza H	GeoAire	<i>Pedro Sanhueza H</i>
Luis I. Rizzi	GeoAire - Puc	<i>Luis I. Rizzi</i>
Carmen G. Contreras	MMA	<i>Carmen G. Contreras</i>
Priscilla Ulloa	MMA	<i>Priscilla Ulloa</i>
Julio Recardon	MMA	<i>Julio Recardon</i>
Francisco Donoso G.	MMA	<i>Francisco Donoso G.</i>
Juan Flo. Bustos D.	MINERÍA	<i>Juan Flo. Bustos D.</i>
Marcel Fernández	MMA	<i>Marcel Fernández</i>
Cristóbal de la Maza	MMA	<i>Cristóbal de la Maza</i>
Siomara Gómez	SMA, Uelpo	<i>Siomara Gómez</i>
Ana Soto	SMA Autojagato	<i>Ana Soto</i>



## Evaluación de Beneficios Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre

*Desarrollado por: Asesorías en Ingeniería Ambiental Pedro A. Sanhueza H.*

*Para:*  
**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**  
*Asuntos Atmosféricos - División Políticas y Regulación Ambiental*

Santiago, 2012.



### **Estudio desarrollado por:**

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| • Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.   | Jefe de Proyecto               |
| • Dr. Ing. Luis Rizzi          | Evaluación Social de Proyectos |
| • Ing. Mónica Torreblanca V.   | Modelación Calidad del Aire    |
| • Ing. Evelyn Salazar M.       | Inventario de Emisiones        |
| • Ing. María José Rodríguez A. | Calidad del Aire               |
| • Msc. Alberto Gil L.          | Economía ambiental             |

### **Contraparte técnica:**

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| • Carmen Gloria Contreras F. | Coordinación Técnica, MMA                |
| • Priscilla Ulloa M.         | Coordinación Técnica, MMA                |
| • Jenny Tapla                | SEREMI del Medio Ambiente Antofagasta    |
| • Slomara Gómez              | SEREMI del Medio Ambiente Valparaíso     |
| • Cinthia Arellano           | SEREMI del Medio Ambiente L.B. O'Higgins |
| • Francisco Donoso G.        | Economía Ambiental MMA                   |
| • Adolfo López               | COCHILCO                                 |
| • Pedro Santic               | COCHILCO                                 |

## Contenidos

---



1. Objetivo del estudio
2. Metodología
3. Fuente emisora a regular (situación sin proyecto)
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Anexos

## Objetivo del estudio

---

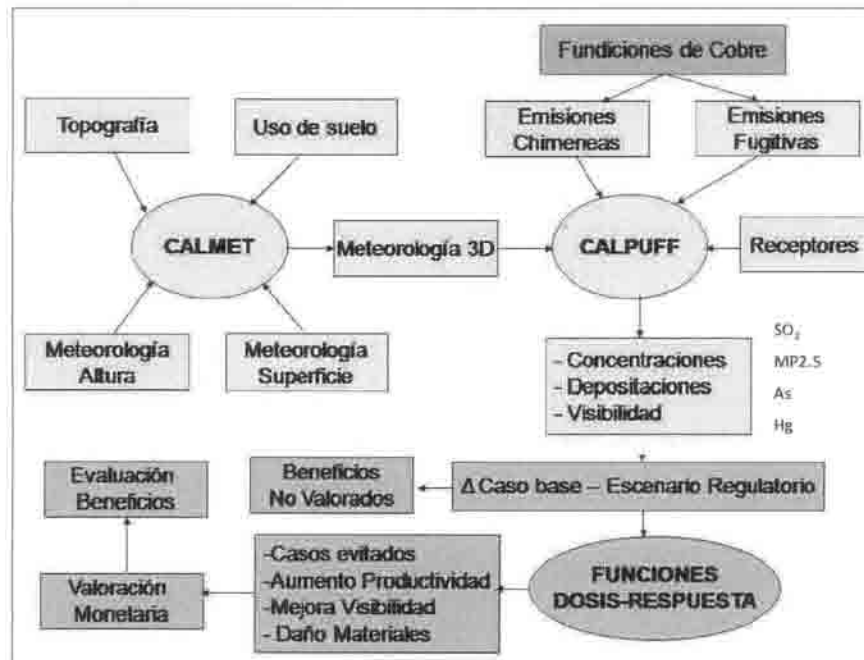


Evaluar los beneficios sociales de la futura norma de emisión para las fundiciones de cobre.

Se evalúan dos escenarios regulatorios, con un escenario intermedio, los que servirán de insumo para la formular el anteproyecto de norma.



## Metodología



Se utiliza recomendaciones de:

- Guía metodológica para elaborar AGIES para instrumentos de gestión de calidad del aire. Proporcionada por el MMA.
- Análisis de Impacto Regulatorio (RIA) – USEPA - OCDE.



## Descripción de la fuente emisora a regular



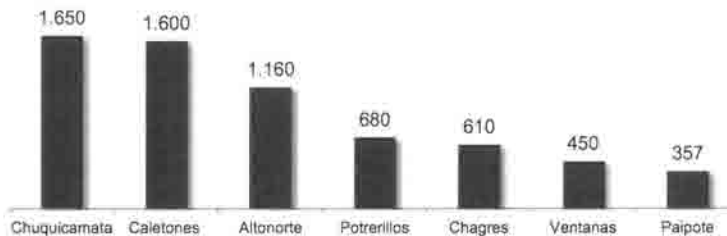
## Descripción de la fuente emisora (1 de 3)



Fundición	Región	Propiedad	Año puesta en marcha
Chuquicamata	II	CODELCO	1952
Altonorte	II	XSTRATA	1993
Potreriillos	III	CODELCO	1927
Paipote	III	ENAMI	1952
Ventanas	V	CODELCO	1965
Chagres	V	ANGLO AMERICAN	1960
Caletones	VI	CODELCO	1922



Capacidad de fusión de cobre 2010  
Miles de ton de concentrado



Fuente: Encuesta realizada a el sector a regular por el MMA (2011)

## Descripción de la fuente emisora (2 de 3)



Situación actual de las fundiciones:

- Todas reportan balance de As (anual) según norma de emisión de arsénico D.S. 165/1999 D.S. 75/2008
- 5 fundiciones estatales reportan emisión de SO<sub>2</sub> y MP por exigencia en planes de descontaminación, se puede decir que :
  - las cuotas establecidas en planes se cumplen desde el 2003
  - La emisión de SO<sub>2</sub> se reporta en balance de masa anual
  - La emisión de MP corresponde a la suma de emisiones en chimenea y emisiones fugitivas.

Fundición	Decreto supremo que establece Plan	Cuota de SO <sub>2</sub> (ton/año)	Cuota de MP (ton/año)	Año establecido en el Plan para alcanzar la cuota
Ventanas	D.S. 252/1992	90.000	1.000	1999
Paipote (HVL)	D.S. 180/1995	40.000	600	1999
Potreriillos	D.S. 179/1998	100.000	5.500	2000
Caletones	D.S. 81/1998	230.000	1.987	2001
Chuquicamata	D.S. 206/2000	56.600	1.850	2003

## Efectos en salud de los principales contaminantes emitidos por fundiciones de cobre (3 de 3)



Contaminantes emitidos por las fundiciones de cobre:

- sustancias tóxicas
- contaminantes primarios
- aporte de precursores que forman aerosol en la atmósfera (MP2,5)

Dependiendo de la sustancia se transporta a escala local, regional o meso escala

Contaminante	Efectos documentados sobre la salud
MP2,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortalidad Prematura</li> <li>- Bronquitis Aguda y Crónica</li> <li>- Admisión Hospitalaria; respiratoria, cardiovascular y cerebro-Vascular</li> <li>- Visita de Urgencia por Asma</li> <li>- Cáncer Pulmón y Traquea</li> <li>- Enfermedades respiratorias superior e inferior</li> <li>- Días de Actividad Restringida</li> <li>- Ausentismo Laboral</li> <li>- Exacerbación Asma</li> <li>- Tos Crónica (Niños)</li> <li>- Tos (Niños Asmáticos)</li> <li>- Mortalidad Infantil</li> </ul>
SO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Admisión Hospitalaria; Respiratoria, y Cardiovasculares</li> </ul>
As	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cáncer a la Piel</li> <li>- Cáncer al Pulmón</li> <li>- Cáncer a la Vejiga</li> <li>- Mortalidad Cardiovascular</li> <li>- Muerte Fetal</li> </ul>
Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños</li> <li>- Anemia</li> </ul>
Hg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños</li> <li>- Ataxia</li> <li>- Disfunción Renal</li> </ul>
Cd	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Osteoporosis</li> <li>- Disfunción Renal</li> </ul>

Fuente: Hunt, A. (2011). "Policy Interventions to Address Health Impacts Associated with Air Pollution, Unsafe Water Supply and Sanitation, and Hazardous Chemicals", DECD Environment Working Papers, No. 35, DECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/9kg9qx8dxk43-en>

## Información sobre emisiones por chimenea y global



### Principales fuentes de información:

1. Encuesta 2011 aplicada por el MMA al sector:  
Globales (G) y Chimeneas (Ch) → Fugitivas = G-Ch
2. Planes de Descontaminación
3. Inventarios de emisiones
4. Información entregada por MMA
5. Comparación y selección de factor de emisión (Hg)

1. ¿emisión por chimenea?	MP	SO <sub>2</sub>	As	Hg	2. ¿emisión global?	MP	S	As	Hg
Chuquicamata	✓	✓	✓	—	Chuquicamata	✓	✓	✓	—
Altonorte	✓	✓	—	—	Altonorte	—	✓	✓	—
Potrerillos	✓	✓	✓	—	Potrerillos	—	✓	✓	—
HVL	✓	✓	—	—	HVL	—	✓	✓	—
Ventanas	✓	✓	✓	—	Ventanas	✓	✓	✓	—
Chagnés	✓	✓	—	—	Chagnés	✓	✓	✓	—
Galetones	—	—	—	—	Galetones	—	✓	✓	—

## Emisiones Caso Base – Año 2010



Fundición	SO <sub>2</sub> (Ton/año)			
	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura S
Caletones	128.468	41.844	86.624	88,00%
Chuquicamata	108.214	41.687	66.527	91,00%
Potreriillos	65.280	13.679	51.601	83,50%
Altonorte	39.958	31.250	8.708	93,70%
Hernán Videla Lira	21.344	10.810	10.534	89,40%
Ventanas	15.590	1.714	13.876	93,80%
Chagres	13.944	3.374	10.570	95,70%

**Total SO<sub>2</sub>: 392.798 ton/año**

Fundición	MP (Ton/año)		
	Globales	Chimeneas	Fugitivas
Potreriillos	3.900	2.147	1.753
Chuquicamata	1.850	702	1.148
Caletones	1.565	260	1.305
Altonorte	1.043	439	604
Chagres	743	187	556
Hernán Videla Lira	600	484	116
Ventanas	405	379	26

**Total MP: 10.106 ton/año**

Fundición	As (Ton/año)			
	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura As
Potreriillos	460	64,8	395,2	83,10%
Caletones	201	99	102	90,30%
Ventanas	118	13,7	104,3	84,10%
Altonorte	83	21	62	96,40%
Chuquicamata	75	4,8	70,2	98,80%
Hernán Videla Lira	14	8,4	5,6	88,60%
Chagres	2,7	1,3	1,4	99,20%

**Total As: 954 ton/año**

Fundición	Hg (Ton/año)		
	Globales	Chimeneas	Fugitivas
Chuquicamata	3,3	0,5	2,8
Ventanas	1,7	0,1	1,6
Altonorte	1,6	0,1	1,5
Caletones	1,5	0,1	1,4
Potreriillos	1	0,1	0,9
Chagres	0,8	0,5	0,3
Hernán Videla Lira	0,5	0	0,5

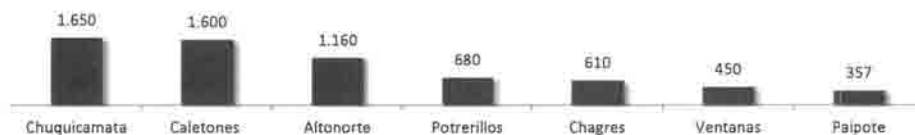
**Total Hg: 10,4 ton/año**

Caso Base SO<sub>2</sub> – Año 2010

Fuente: Encuesta realizada a el sector a regular por el MMA (2011)



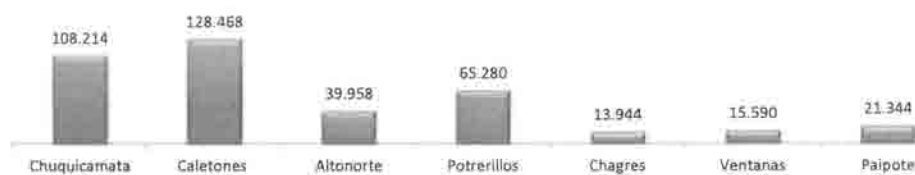
Capacidad de fusión de cobre 2010 - Miles de ton de concentrado



% captura S - base



Emisiones SO<sub>2</sub> Ton/año





## Escenarios regulatorios

### Escenarios regulatorios:



**Contaminantes a regular:** SO<sub>2</sub>, As, Hg y MP (Se recomienda no regular NOX)

**Exigencias de la regulación:**

Cuota de emisión SO<sub>2</sub> y As, condicionada a un % de captura

Límite en chimenea para operaciones unitarias para SO<sub>2</sub>, As, Hg y MP

Control de MP y humos visibles en el horno de refino

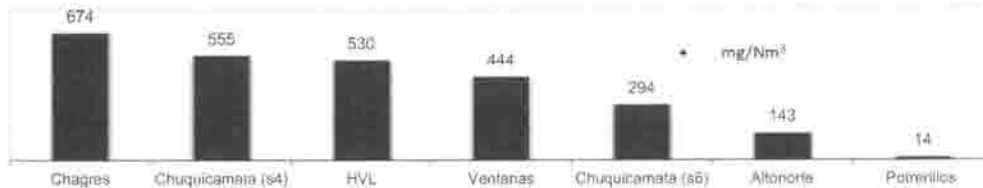
Escenarios Regulatorios	Escenario Intermedio para cumplir meta T1 (2012)	T2 (2014)
Escenario 1	94% SO <sub>2</sub>	95% SO <sub>2</sub>
	95 % As	96% As
Escenario 2	94% SO <sub>2</sub>	96% SO <sub>2</sub>
	95% As	97% As

Chimenea (s) de procesos unitarios de Fundición de cobre Existentes	Límites máximos de emisión en chimeneas en mg/Nm <sup>3</sup> (T2)			
	MP	SO <sub>2</sub>	As	Hg
Planta de Ácido	—	400	0,5	0,07
Limpieza de Escoria	50	400	0,5	0,1
Secador de concentrados de Cobre	Informar	—	—	—

## Dos consideraciones:



- **Sobre regular NOx:** Las emisiones de NOx están en el orden de 17 a 109 mg/Nm<sup>3</sup>. El Banco Mundial recomienda para fundiciones de Cobre de 300 mg NOx/Nm<sup>3</sup>. Se recomienda descartar como prioridad en la regulación.
- **Sobre regular MP en los secadores:** En la cámara del secador no hay combustión, la temperatura máxima que alcanza es de 150°C. No hay producción ni emisión de partículas finas. Todas las fundiciones cuentan en el secador con control de MP: se recupera el material y reduce las emisiones. Chuquicamata declara tener 2 secadores conectados a precipitadores electrostáticos; el resto de las fundiciones cuenta con filtros de mangas. La emisión de MP de los secadores varía entre 142 a 674 mg/Nm<sup>3</sup>. Valores muy lejos del estándar de operación de un equipo de control. Las emisiones reportadas corresponden a:



Fuente: Encuesta realizada a el sector a regular por el MMA (2011).

Las emisiones esperadas de un equipo de control en buen estado y con buenas prácticas de operación, corresponde a valores entre 1 a 10 mg/Nm<sup>3</sup>. El Banco Mundial recomienda para las emisiones del secador 5 mg MP/Nm<sup>3</sup>.

Lo anterior, es una señal para que las fundiciones realicen el esfuerzo de mejorar sus prácticas de operación y mantención de los equipos de control.

La regulación inducirá estos cambios en la operación y mantención de los equipos de control, para alcanzar los niveles que la tecnología posee. Para el estudio no se asumen beneficios por un límite en los secadores.



## Resultados de cada escenario regulatorio



## Emisiones Escenario 1: 95% SO<sub>2</sub> - 96% As

Emisiones de SO <sub>2</sub> (Ton/año)				
Fundición	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura S
Chuquicamata	60.119	13.308	46.811	95,0%
Caletones	53.528	5.027	48.501	95,0%
Altonorte	27.145	18.437	8.708	95,7%
Potrerrillos	19.782	1.421	18.361	95,0%
Ventanas	12.573	692	11.88	95,0%
Chagres	12.196	1.626	10.57	96,2%
Hernán Videla Lira	10.068	1.611	8.457	95,0%

Porcentaje de Reducción Global SO <sub>2</sub>	
Fundición	Globales
Chuquicamata	44,4%
Caletones	58,3%
Altonorte	32,1%
Potrerrillos	69,7%
Ventanas	19,4%
Chagres	12,5%
Hernán Videla Lira	52,8%

**Reducción Global SO<sub>2</sub>: 50%**

Emisiones de As (Ton/año)				
Fundición	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura As
Potrerrillos	109	27,2	81,8	96,0%
Caletones	83	22,3	60,7	96,0%
Altonorte	83	21,0	62,0	96,4%
Chuquicamata	75	4,8	70,2	98,8%
Ventanas	30	9,9	20,1	96,0%
Hernán Videla Lira	5	4,2	0,8	96,0%
Chagres	2	0,4	1,6	99,5%

Porcentaje de Reducción Global As	
Fundición	Globales
Potrerrillos	76,3%
Caletones	58,7%
Altonorte	0,0%
Chuquicamata	0,0%
Ventanas	74,6%
Hernán Videla Lira	64,3%
Chagres	25,9%

**Reducción Global As: 59%**

## Emisiones Escenario 2 : 96% SO<sub>2</sub> - 97% As



Emisiones de SO <sub>2</sub> (Ton/año)				
Fundición	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura S
Chuquicamata	48.095	13.308	34.787	96,0%
Caletones	42.823	5.027	37.796	96,0%
Altonorte	25.370	18.437	6.933	96,0%
Potrerrillos	15.825	1.421	14.404	96,0%
Ventanas	10.058	692	9.366	96,0%
Chagres	12.196	1.626	10.57	96,2%
Hernán Videla Lira	8.054	1.611	6.443	96,0%

Porcentaje de Reducción Global SO <sub>2</sub>	
Fundición	Globales
Chuquicamata	55,6%
Caletones	66,7%
Altonorte	36,5%
Potrerrillos	75,8%
Ventanas	35,5%
Chagres	12,5%
Hernán Videla Lira	62,3%

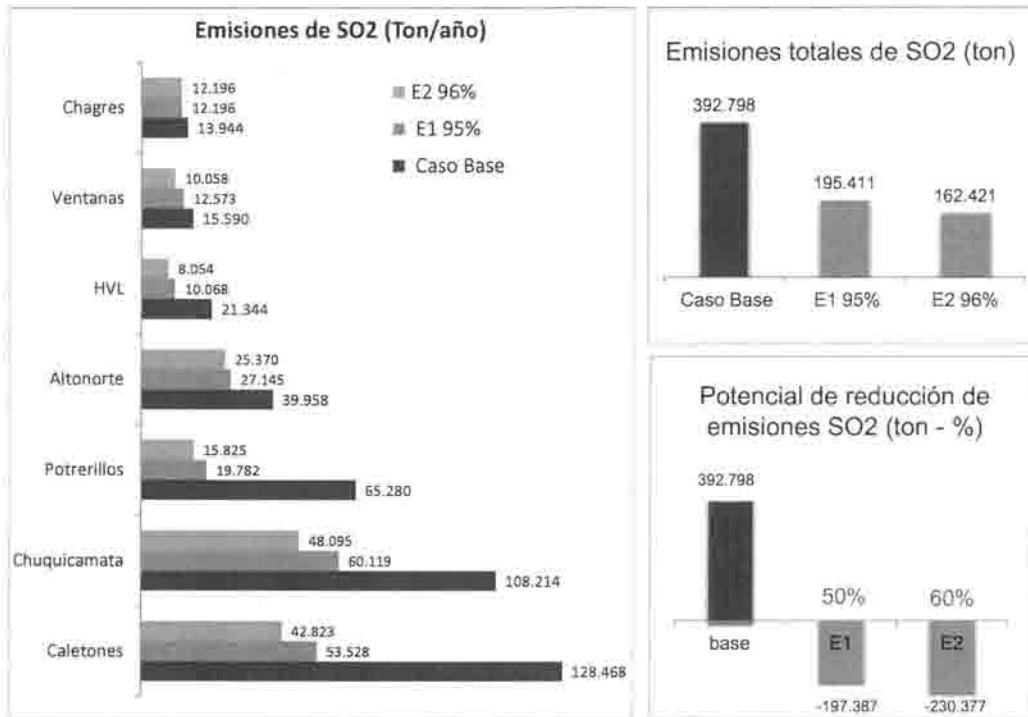
**Reducción Global SO<sub>2</sub>: 60%**

Emisiones de As (Ton/año)				
Fundición	Globales	Chimeneas	Fugitivas	% de Captura As
Potrerrillos	82	27,2	54,8	97,0%
Caletones	62	22,3	39,7	97,0%
Altonorte	70	21,0	49,0	97,0%
Chuquicamata	75	4,8	70,2	98,8%
Ventanas	22	9,9	12,1	97,0%
Hernán Videla Lira	4	3,2	0,8	97,0%
Chagres	2	0,4	1,4	99,5%

Porcentaje de Reducción Global As	
Fundición	Globales
Potrerrillos	82,2%
Caletones	69,2%
Altonorte	15,7%
Chuquicamata	0,0%
Ventanas	81,4%
Hernán Videla Lira	71,4%
Chagres	25,9%

**Reducción Global As: 67%**

## Reducción de emisiones de SO2



## Resultados de la modelación relación emisión - concentración

## Modelación emisión - calidad



- Modelo regulatorio aprobado por US EPA 40 CFR, Parte 51, Apéndice W

*Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule*  
[http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/epw\\_05.pdf](http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/epw_05.pdf)  
[http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/epw\\_03.pdf](http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/epw_03.pdf)

- Estima formación de sulfatos y nitratos, con mecanismo químico MESOPUFF II, considera reacciones en fase gaseosa y acuosa.
- Por defecto se asume amoníaco 10 ppb y ozono 80 ppb

### Parámetros de modelación

- Dominio 660 x 2.350 km
- Cobertura desde Arica a La Araucanía
- Resolución: 5 x 5 km<sup>2</sup>
- Vertical: 5 Capas (0, 20, 320, 4.000, 6.000)
- Receptores: 2.825
- Población: 14.924.680

## Validación del modelo

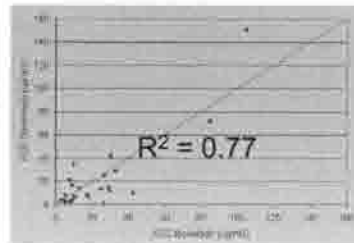
1

La modelación logra reproducir la variabilidad meteorológica producto del terreno complejo y la influencia oceánica



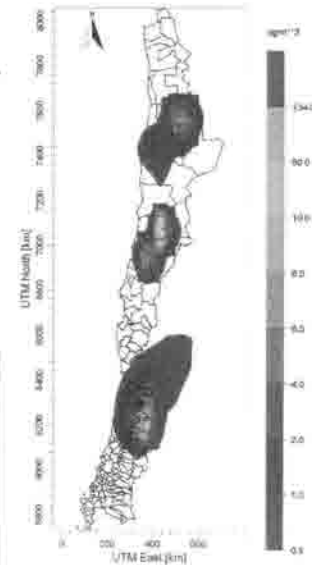
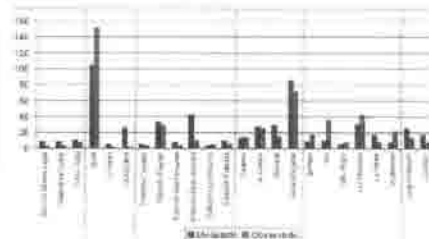
2

Los resultados de SO<sub>2</sub> indican un buen ajuste entre las concentraciones medidas (observadas) y las concentraciones modeladas (estimadas).



3

El modelo logra reproducir las tendencias asociadas a la variabilidad espacial de las concentraciones de SO<sub>2</sub>. Para fines regulatorios, responde a los requerimientos del objetivo del estudio.







## Evaluación de Beneficios

### Criterios de Evaluación



Se utilizaron dos criterios de evaluación y valoración monetaria de beneficios:

#### 1) GUIA Ministerio del Medio Ambiente

- Mortalidad: Cifuentes 2000 y Pope 2004
- Morbilidad sólo MP2.5
- Agricultura: sólo Cebada

#### 2) CONSULTOR

- Mortalidad Pope 2004 y Laden 2006 (RIA USEPA)
- Morbilidad MP2.5 y SO<sub>2</sub> (RIA USEPA)
- Cáncer Pulmonar
- Agricultura: Todos los cultivos (ExterneE)
- Visibilidad (RIA USEPA)
- Materiales (PPDA Conama)

## Fuentes de información



### Mortalidad

- Valor de la Vida Estadística según Guía Beneficios MMA

### Rendimiento Agrícola

- Guía Beneficios MMA

### Mejora en Visibilidad

- DAP de Santiago y 50% de ese valor para la otras comunas

DAP: disponibilidad a pagar

### Tasa de descuento Social

- 6% Mideplan
- Período de evaluación: 25 años

## Número de casos evitados MP2.5



Caso	Causa	Beta	Grupo Etáreo	Autor, Año
Mortalidad	Todas	0,0148	≥ 25	Laden, 2006
	CPM	0,0093	≥ 30	Pope, 2004
	Todas	0.0012	Todos	Cifuentes, 2000
Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares	CHF	0.0031	≥ 65	Ito, 2003
	DYS	0.0012	≥ 65	Ito, 2003
	IHD	0.0014	≥ 65	Ito, 2003
	CVD	0.0016	≥ 65	Moolgavkar, 2003
	CVD	0.0015	18 - 64	Moolgavkar, 2000
Admisiones hospitalarias por causas respiratorias	CLD	0.0012	≥ 65	Ito, 2003
	CLD	0.0024	18 - 64	Moolgavkar, 2000
	PNEU	0.0040	≥ 65	Ito, 2003
	ASTHM	0.0033	0 - 64	Sheppard, 2003
Visitas de urgencia	ASTHM	0.0165	0 - 17	Norris, 1999
Ausentismo	WLD	0.0046	18 - 64	Ostro, 1987
Actividad Restrictiva	RAD	0.0048	18 - 64	Ostro, 1987

CPM: Cardiopulmonar    CHF: Cardiocongestivas    DYS: Disrritmias    IHD: Cardio-Isquémica    CVD: Cardiovasculares  
 CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica    PNEU: Neumonía    ASTHM: Asma    WLD: Dias laborales perdidos  
 RAD: Dias de actividad restrictiva

## Número de casos evitados SO<sub>2</sub>



Caso	Causa	Beta	Grupo	Autor
Morbilidad Cardiovascular	CVD	0.0039	Todos	CONAMA,2007
Morbilidad Respiratoria	CLD	0.00107	Todos	CONAMA,2007

CVD: Cardiovasculares CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica

## Beneficios en Salud:



Nº de casos evitados al año

ESCENARIO REGULATORIO	Cifuentes 2000	Pope 2004	Laden 2006
Mortalidad evitada Escenario 1	76	282	913
Mortalidad evitada Escenario 2	88	322	1.047

Nº de casos evitados al año

ESCENARIO REGULATORIO	GUÍA MMA	CONSULTOR
	MP2.5	MP2.5 - SO <sub>2</sub>
Morbilidad evitada Escenario 1	865	2018
Morbilidad evitada Escenario 2	987	2342

Nº de días de ausentismo laboral o actividad restrictiva al año

ESCENARIO REGULATORIO	Días	
	Ausentismo Laboral	Actividad restrictiva
Escenario 1	200.381	727.904
Escenario 2	228.989	831.831

## Valoración monetaria de los beneficios en salud



Beneficios	Valor 2014 ( MillUSD/año)	
	GUÍA MMA	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad <sup>1</sup>	34 – 125	39 - 142
Mortalidad <sup>2</sup>	124 – 457	142 – 522
Morbilidad <sup>3</sup>	1,6	1,8
Ausentismo	7,2	8,2
Actividad Restrictiva	7,5	8,5
<b>Total Beneficios<sup>1</sup></b>	<b>50 – 141</b>	<b>57 – 161</b>
<b>Total Beneficios<sup>2</sup></b>	<b>140 – 473</b>	<b>161 – 541</b>

1.- Cifuentes, 2000  
2.- Pope, 2004  
3.- Considera sólo morbilidad por MP2,5- Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de calidad del aire, MMA 2011

Beneficios	Valor 2014 ( MillUSD/año)	
	CONSULTOR	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad <sup>1</sup>	402 - 1.477	461 - 1.692
Mortalidad <sup>2</sup>	124 – 457	142 – 522
Morbilidad <sup>3</sup>	4,4	5,1
Ausentismo	7,2	8,2
Actividad Restrictiva	7,5	8,5
<b>Total Beneficios<sup>1</sup></b>	<b>421 - 1.496</b>	<b>482 - 1.714</b>
<b>Total Beneficios<sup>2</sup></b>	<b>143 - 476</b>	<b>164 – 544</b>

1.- Laden, 2006  
2.- Pope, 2004  
3.- Considera morbilidad por MP2,5 y SO<sub>2</sub>

## Valoración monetaria de los beneficios en agricultura



- Función de daño corresponde al cambio en el rendimiento agrícola debido a exposición al SO<sub>2</sub>
- Beneficio = 0,0069 \* ΔSO<sub>2</sub> \* Precio
- Cebada: se asume = otros cultivo

Cultivo	Beneficio Anual (MillUSD/año)- Agricultura			
	Escenario N°1 (95% SO <sub>2</sub> y 96 As%)		Escenario N°2 (96% SO <sub>2</sub> y 97 As%)	
	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año
Cebada	0,002	0,002	0,003	0,003
Otros	No Considera	16	No Considera	19
<b>Total</b>	<b>0,002</b>	<b>16</b>	<b>0,003</b>	<b>19</b>

## Valoración monetaria de los beneficios en visibilidad



- La visibilidad se reduce por dispersión y absorción de la luz, debido a gases y partículas
- $Dv = 10 \ln(Bext/10)$
- Valoración económica por días de buena visibilidad:  
DAP: US\$ 0,58/hogar en la RM y US\$0,29/hogar en el resto del País

Región	Beneficio Anual (Mill USD/año)- Visibilidad	
	CONSULTOR	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
<b>Total</b>	0,04	1,6

Nota: Existe una relación no lineal entre Distancia visual (km) y Dv.  
1 Dv = 354 Km y 60 DV = 1 km

## Valor Actual Neto (VAN) de los Beneficios – 25 años



Beneficios	VAN EN MILLONES DE USD <sup>5</sup>	
	CRITERIO GUÍA MMA	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad <sup>1</sup>	606 - 2.226	684 - 2.515
Mortalidad <sup>2</sup>	2.214 - 8.135	2.506 - 9.206
Morbilidad <sup>3</sup>	29	32
Ausentismo Laboral	132	150
Actividad Restrictiva	137	155
Rendimiento Agrícola <sup>4</sup>	0,03	0,04
<b>Total Beneficios<sup>1</sup></b>	<b>904 - 2.524</b>	<b>1.021 - 2.852</b>
<b>Total Beneficios<sup>2</sup></b>	<b>2.512 - 8.433</b>	<b>2.843 - 9.543</b>

1.- Beta Cifuentes 2000  
2.- Beta Pope 2004  
3.- Considera sólo morbilidad por causa de MP2,5  
4.- Considera sólo Cebada  
5.- Tasa Social 6% , Año de Evaluación 2014

Beneficios	VAN EN MILLONES DE USD <sup>5</sup>	
	CRITERIO CONSULTOR	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad <sup>1</sup>	7.164 - 26.324	8.119 - 29.831
Mortalidad <sup>2</sup>	2.214 - 8.135	2.506 - 9.206
Morbilidad <sup>3</sup>	81	93
Ausentismo Laboral	132	150
Actividad Restrictiva	137	155
Rendimiento Agrícola <sup>4</sup>	243	275
Mejora en Visibilidad	1	20
Materiales <sup>5</sup>	0	0
<b>Total Beneficios<sup>1</sup></b>	<b>7.758 - 26.918</b>	<b>8.812 - 30.524</b>
<b>Total Beneficios<sup>2</sup></b>	<b>2.808 - 8.729</b>	<b>3.199 - 9.899</b>

1.- Beta Laden 2006  
2.- Beta Pope 2004  
3.- Considera Morbilidad causada por MP2,5 y SO<sub>2</sub>  
4.- Considera todos los Cultivos (Uva de mesa, maíz, arroz, huertas familiares, poroto de exportación, etc)  
5.- Reflectancia es marginal para ser valorada  
5.- Tasa Social 6%, Año de Evaluación 2014



## Beneficios Cuantificados pero No Valorados (1 de 2)

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Concentración SO <sub>2</sub> Evitada (µg/m <sup>3</sup> N)			
			Promedio Anual		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Total	Agrícola	3.300.954	3,3	3,8	29,0	34,1
	Bosque	554.551	6,0	7,0	30,1	35,6
	Plantaciones	2.186.688	1,5	1,8	27,0	31,6
	Praderas	1.047.363	3,6	4,3	33,6	39,6
	Renovales	1.483.968	3,6	4,2	30,4	35,9

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Depositación MP (Ton/Año)			
			Promedio Anual		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Total	Agrícola	3.300.954	281	321	2.010	2.510
	Bosque	554.551	53,2	60,6	105	119
	Plantaciones	2.186.688	170	196	418	479
	Praderas	1.047.363	97,9	113	559	691
	Renovales	1.483.968	137	157	291	328

## Beneficios Cuantificados pero No Valorados (2 de 2)



### Número de cáncer evitados según Escenario Regulatorio

Casos Evitados	Escenario 1	Escenario 2
Cáncer Pulmonar considerando solo As	868	1.065

## Conclusiones (1 de 3)



- De las 392,798 ton/año de SO<sub>2</sub> que emiten en conjunto el parque de Fundiciones de Cobre al 2010, al aplicar el Escenario 1, se reduce las emisiones en un 50%, equivalente a dejar de emitir 195.411 ton/año.  
\* equivalente a 1,8 veces la emisión de SO<sub>2</sub> de todo el parque termoeléctrico del año 2008.
- Con el Escenario 2, las emisiones se reducen en un 60%, se deja de emitir 230.377 ton/año de SO<sub>2</sub>, es decir.
- La reducción que se logra al aplicar el Escenario regulatorio 2 respecto del Escenario 1, equivale a eliminar las emisiones de SO<sub>2</sub> de las Fundiciones de Ventanas y Chagres ó de Hernán Videla Lira y Chagres.
- La reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> de los escenarios regulatorios logra doblar las reducciones esperadas de la norma de Termoeléctricas para este contaminante.

## Conclusiones (2 de 3)



- De 954 ton/año de arsénico emitido por el 2010, con el Escenario 1 se logra reducir en un 59% las emisiones (a 387 ton/año). Con el Escenario 2 se reduce un 67% (317 ton/año).
- El valor propuesto para el límite de mercurio (Hg) en chimenea, es mayor al estimado utilizando el factor emisor. Por lo tanto, no se estiman beneficios para este contaminante. Sin embargo, dada su alta toxicidad y efectos bioacumulativos, se recomienda no descartarlo en la regulación.
- Los casos evitados al año en mortalidad respecto a cada escenario regulatorio son:  
Escenario 1: **76 / 282 / 913**  
Escenario 2: **88 / 322 / 1047**

Valores según el coeficiente dosis-respuesta utilizado de Cifuentes, 2000; Pope, 2004 y Laden, 2006 respectivamente.

## Conclusiones (3 de 3)



- Beneficios valorados (Millones US\$/año) se encuentran en los siguientes rangos:
  - Según Guía MMA: Escenario 1: (50 – 473) / Escenario 2: (57 – 541)
  - Según Consultor: Escenario 1: (159 – 1512) / Escenario 2: (185 – 1735)
  
- Beneficios cuantificados pero no valorados:
  - Recursos Naturales
    - 8,6 millones de hectáreas
    - $4 \mu\text{g}/\text{m}^3 < \text{SO}_2/\text{año}$  con máximos del 50% respecto a norma anual
    - 850 ton/año de MP sedimentable
  
  - Número de cáncer pulmonar evitados:
    - Escenario 1 se evitarían 868 casos
    - Escenario 2 se evitarían 1065 casos



## Evaluación de Beneficios Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre

### Láminas de apoyo

*Desarrollado por: Asesorías en Ingeniería Ambiental Pedro A. Sanhueza H.*

*Para:*  
**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**  
*Asuntos Atmosféricos - División Políticas y Regulación Ambiental*

Santiago, 23 de Enero 2012



## Valoración de los efectos en Salud en UF 2009



Efecto	Causa	Grupo	CM	PP	WTP	Total
<b>Mortalidad</b>	Todas	Todos			8,600 – 31,600	8,600 – 31,600
	CPM	≥ 25			8,600 – 31,600	8,600 – 31,600
<b>Admisión Hospitalaria</b>	CHF	≥ 65	27,4	4,2		31,6
	DYS	≥ 65	43,9	4,1		48,8
	IHD	≥ 65	20,9	3,5		24,4
	CVD	≥ 65	43,9	4,8		48,7
	CVD	18 – 64	45,3	3,6		48,9
	CLD	≥ 65	27,4	4,2		31,6
	CLD	18 – 64	27,4	3,6		31,0
	PNEU	≥ 65	29,4	4,8		34,2
<b>Visita Urgencia</b>	ASTHM	0 – 64	21,0	3,1		24,1
	ASTHM	0 – 17	0,8	0,3		1,1
<b>Días Perdidos</b>	WLD	18 – 64		0,7		0,7
<b>Actividad Restringida</b>	SLD	4 – 17		0,2		0,2
	RAD	18 – 64		0,2		0,2
	MRAD	18 – 64		0,0		0,0

CM: Costos médicos PP: Productividad Perdida WTP: Disponibilidad a pagar CPM: Cardiopulmonar CHF: Cardiocongestivas  
 DYS: Disrritmias IHD: Cardio-isquémica CVD: Cardiovasculares CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica PNEU: Neumonía  
 ASTHM: Asma WLD: Días laborales perdidos RAD: Días de actividad restrictiva

Desglose de Casos Evitados en Mortalidad por MP2.5  
Primario y Secundario

## Escenario 1

Betas	MP2.5 Primario	MP2.5 secundario
Cifuentes 2000	5	908
Pope 2004	2	280
Laden 2006	0	76

## Escenario 2

Betas	MP2.5 Primario	MP2.5 secundario
Cifuentes 2000	6	1041
Pope 2004	2	320
Laden 2006	1	87

## Estimación de Emisiones de Mercurio (Hg)

---



- Factor emisor utilizado = 5,81 Kg Hg/ Ton de Concentrado procesado
  
- Factor emisor extraído del estudio: Hylander and Herbert (2008), "Preliminary mercury emission estimates from non-ferrous metals smelters in India".
  
- Emisión total anual de Hg según megafuentes:
  - Fundiciones de Cobre = 10,4 ton/año
  - Termoeléctricas = 5,9 ton/año