

Estanque de licor verde	Torre lavadora de gases (scrubber)
Horno de Cal	Torre lavadora de gases (scrubber)
Planta de blanqueo	Torre lavadora de gases (scrubber)

Fuente: Catalin Florin Petre, 2007, Universidad de Laval, Canadá.

**Tabla 5-4: Eficiencia y costos de equipos**

Equipo mitigador	Eficiencia de equipos y sistemas	Costos
Incinerador	La eficiencia del incinerador está en el rango del 80 al 90%.	El rango de inversión es de 3 a 4 MMUS\$ para una planta de 1.500 ton de pulpa /día (sólo por el incinerador)
Scrubber alcalino	La eficiencia del incinerador está en el rango del 60 al 80%	El rango de inversión está entre 1,5-3,23 MMUS\$ para una planta de 300 a 800 ton de pulpa /día
Condensador	En general representa un equipo que se encuentra dentro del sistema para retirar principalmente la humedad de los gases y concentrar los gases no condensables.	Los costos se encuentran incluidos en los sistemas de recolección de gases
Sistema general recolector de gases diluidos	El potencial de reducción de gases TRS es de 0,08 0,02 kg TRS/ton pulpa	El rango de costos está en 1,9 a 4,25 MMUS\$ en plantas nuevas (800 a 1500 ton de pulpa /día) y para plantas antiguas (300 a 800 ton de pulpa /día) de 2,1 a 5,1 MMUS\$
Sistema general recolector de gases Concentrados	El potencial de reducción de gases TRS es de 1,2 a 2,2 kg TRS/ton pulpa	El rango de costos está en 3,8 a 9,35 MMUS\$ (800 a 1500 ton de pulpa /día) en plantas nuevas y para plantas antiguas (300 a 800 ton de pulpa /día) de 4 a 11,05 MMUS\$
Sistemas de control y instrumentación	La eficiencia es variable y depende del sistema a controlar	0,1 MMUS\$ para una planta de 260.000 ton

Fuente: Elaboración Propia. "An Environmental Systems Analysis of the Kraft Pulp Industry in Thailand, Want Jawjit, 2004" y "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill" 2008. Bordado and Gomes, 2003

En función de lo anterior se presenta los sistemas de emisiones de abatimiento de TRS que representan la mejor tecnología disponible para las plantas de celulosa Kraft (Development of new environmental emission limit guidelines for any new bleached eucalypt kraft pulp mil in Tasmania, 2004, Resource Planning and Development Commission):

- Sistema de recolección de gases no condensables concentrados (CNCG) y su incineración, ya sea en la caldera de recuperación o en incinerador autónomo de baja emisión de NO<sub>x</sub>.
- Sistema de respaldo para el tratamiento de CNCG que se activa durante periodos de mantenimiento u otras averías en el sistema principal de tratamiento de estos gases que consiste en:
  - Un incinerador o una unidad secundaria de incineración (por ejemplo, el horno de cal), o bien,

- Un sistema de pre-purgado alternativo que permita ventilación a una caldera de poder.
- Recolección de gases no condensables diluidos (DNCG) y la incineración en la caldera de recuperación como su segundo o tercer aire de combustión.
- Recuperación de metanol mediante un stripper el cual separa el metanol del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).
- La caldera de recuperación debe tener las siguientes características:
  - La combustión debe tener un sistema de control computarizado y medición de monóxido de carbono (CO).
  - La caldera debe ser del tipo de bajo olor, en otras palabras es una caldera de contacto indirecto.
- Para el horno de cal: Debe existir control del exceso de oxígeno, uso de combustibles con bajo contenido de azufre, y el control de los solubles de sodio residual en el lodo de cal para alimentar el horno. En la salida de los gases de emisión se implementa un sistema de lavador de gases húmedo para remover los óxidos de azufre (desulfurización).
- Un programa de monitoreo para la medición de olores (TRS) mediante un cromatógrafo de gases móvil /espectrómetro de masas (GC-MS).
- Las emisiones del estanque disolvedor se dirigen a un Scrubber y de esta unidad se envían una operación de combustión.

## **6. MAGNITUD DE LAS EMISIONES DE GASES TRS**

La estimación de los flujos de los gases TRS es necesaria para establecer el escenario base en el cual se está desarrollando la norma y así verificar las reducciones concretas, en caso de evaluar algún escenario que implique una reducción del límite de emisión de los equipos evaluados en la norma y la inclusión de nuevas fuentes.

### **6.1. Línea base para los equipos normados por el D.S. N° 167/99.**

Para estimar las emisiones atmosféricas de gases TRS que emiten los equipos normados actualmente, se utilizaron las concentraciones reportadas en los informes estándar de cumplimiento del D.S. N° 167/99 de las distintas plantas de pulpa de celulosa kraft existentes en el país. Para el caso de la Planta Constitución se utilizaron las concentraciones informadas en el Reporte 2005-2006 del Registro de Emisiones y

Transferencia de Contaminantes, RETC (CONAMA, 2008), mientras que para planta Licancel se consideró el valor límite de la norma para la concentración de los gases TRS en las emisiones de los equipos regulados, dado que actualmente no se han aprobado oficialmente sus equipos de monitoreo.

Adicionalmente, se utilizaron factores de emisión que relacionan flujos típicos emitidos por unidades de procesos con la producción de pulpa de cada planta evaluada. Estos últimos valores se muestran en la Tabla 6-1.

**Tabla 6-1: Caudales de unidades de procesos en función de la producción de celulosa.**

Parámetro	Valor
Flujo de gases en la caldera recuperadora por tonelada de pulpa	9100 STDm <sup>3</sup> /ADt
Flujo de gases en el horno de cal por tonelada de pulpa	3.554 STDm <sup>3</sup> /ADt
kg de sólidos quemados por ton de pulpa	1.600 kg de sólidos quemados /ADt

Fuente: Alberta Environment, 2008. STDm<sup>3</sup> = metro cúbico seco en condiciones estándar de temperatura (25 °C) y presión (1 atm). ADt = tonelada de celulosa secada con aire

Como se mencionó anteriormente, la estimación de los flujos de gases TRS se realizó en función de las concentraciones reportadas (informe estándar), utilizando el promedio de los últimos 2 periodos de monitoreo (2008-2007 o 2007-2006 en caso de no contar con los datos del año 2008). Para efectos de las estimaciones de tasas de emisión se usaron los valores de concentración promedio anual. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2: Estimación de emisiones de TRS de los equipos normados en Chile.**

Planta	Producción ton/año <sup>a</sup>	Caldera Recuperadora		Horno de Cal		Estanque Disolvedor	
		ppmv	ton TRS/año	ppmv	ton TRS/año	mg TRS/kg SS	ton TRS/año
Licancel*	145.000	5,0	10,0	20,00	15,7	2,0	0,5
Constitución <sup>c</sup>	350.000	4,6	22,3	16,50	31,2	0,0	0,0
Arauco 1	271.260	1,2	4,7	3,35	4,9	10,3	4,5
Arauco 2	516.436	0,4	3,2	7,37	20,6	9,8	8,1
Valdivia	685.000	0,6	5,2	1,45	5,4	0,0	0,0
Nueva aldea	1.027.000	0,4	5,6	2,92	16,2	0,0	0,0
Laja 1 <sup>b</sup>	106.560	208,0	306,7	3,07	1,8	8,2	1,4
Laja 2	253.440	0,4	1,4	3,07	4,2	6,2	2,5
Santa fe 1	380.000	0,4	1,9	5,06	10,4	8,8	5,4
Santa fe 2	780.000	0,7	7,9	1,66	7,0	0,0	0,0

Pacífico	520.000	0,7	4,7	7,35	20,7	14,1	11,7
<b>Total</b>	<b>5.034.696</b>		<b>373,6</b>		<b>137,9</b>		<b>34,1</b>

**Fuente:** Elaboración propia.<sup>a</sup> Información obtenida de página PaperNet (Capacidad 2006-2007) y complementadas por visita a terreno.<sup>b</sup> Línea 1 de Planta Laja no está operativa por la situación económica mundial.<sup>c</sup> Para Planta Constitución se consiguieron valores de cumplimiento del límite de emisión del documento : "Reporte 2005-2006 del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC (CONAMA, 2008)". \* Al no tener información de medición en las plantas de Licancel se utilizan los valores límites de la norma para realizar las estimaciones.

## 6.2. Estimación de la emisión de otras fuentes

Para la estimación de las emisiones de TRS en otras fuentes del proceso se consideró el estado de cada planta de celulosa en relación a la recolección de gases, información obtenida de los informes estándar y del SEIA. En base a lo anterior, se utilizaron factores de emisión de la U.S. EPA, características de las plantas de celulosa, considerando las fuentes de emisiones más importantes. Los factores de emisión se muestran en Tabla 6-3.

**Tabla 6-3: Factores de emisión de TRS para una planta de celulosa Kraft**

<b>Fuente</b>	<b>H<sub>2</sub>S kg/Mg pulpa</b>	<b>MM-DMS-DMDS<sup>a</sup> kg/Mg pulpa</b>	<b>TRS kg/Mg pulpa</b>
Ventoso de digestor	0,02	0,6	0,62
Zona de Soplado	0,02	0,6	0,62
Zona de Lavado	0,01	0,05	0,06
Zona de evaporadores	0,55	0,05	0,6
Condensador de Trementina	0,005	0,25	0,255
Misceláneas*		0,25	0,25

**Fuente:** US EPA AP-42, Wood Products Industry, 10.2 Chemical Wood Pulping, Table 10.2-1. <sup>a</sup> MM-DMS-DMDS se refiere Metil mercaptano-Dimetil sulfuro-Disulfuro de dimetilo respectivamente. \*Fuentes misceláneas consideran gases diluidos no condensables de distintas áreas.

En función de la Tabla 6-3 se estimaron las emisiones de gases TRS considerando si los gases de las fuentes antes mencionadas están o no en el sistema de recolección de gases en el caso de cada planta.

Para las plantas nuevas o las que han realizado modificaciones recientes para incluir la recolección de gases diluidos (información del SEIA), se consideró la información entregada en la Evaluación de Impacto Ambiental. La información recopilada de los estudios adjuntos a los EIAs se presentan en la Tabla 6-4, mientras que en la Tabla 6-5 se indican las consideraciones utilizadas para el cálculo de emisiones de cada planta. Los resultados de las estimaciones de las emisiones fugitivas de gases TRS se presentan en la Tabla 6-6.

Finalmente, se presenta el resumen de las estimaciones de emisiones de gases TRS por tipo de fuentes en la Tabla 6-7.

**Tabla 6-4: Fuentes fugitivas Informadas en SEIA.**

Planta	Emisiones Ton/día	Referencia
Valdivia	0,25	Reporte de la Auditoria a Planta Valdivia, Chile. Consultants of the National Cleaner Production Center - CNTL SENAI –Abril/Mayo 2006
Nueva Aldea	0,31	EIA "Obras nuevas y actualizaciones del complejo forestal industrial Itata", 2004.

Fuente: Elaboración propia, 2009.

**Tabla 6-5: Control de las fuentes que emiten TRS**

Planta	Consideraciones en el cálculo de las emisiones
Licancel	Al no tener mayor información se establece que no se han hecho modificaciones desde la última revisión por lo que se identifican emisiones de TRS de fuentes misceláneas y del área de lavado. Sólo posee sistema de recolección de gases no condensables concentrados.
Constitución	Al no tener mayor información se establece que no se han hecho modificaciones desde la última revisión por lo que se identifican emisiones de TRS de fuentes misceláneas y del área de lavado. Sólo posee sistema de recolección de gases no condensables concentrados.
Arauco 1	En los informes estándar reconocen que sólo posee sistema recolector de gases no condensables concentrados. Pero existen fuentes fugitivas del área de lavado, estanque de soplado y se consideran que las fuentes misceláneas tampoco han sido controladas (Tabla 6-3).
Arauco 2	En los informes estándar reconocen que sólo posee sistema recolector de gases no condensables concentrados. Pero existen fuentes fugitivas del área de lavado, estanque de soplado y se consideran que las fuentes misceláneas tampoco han sido controladas (Tabla 6-3).
Valdivia	Tienen sistema de gases no condensables concentrados y diluidos. En el estudio de impacto ambiental se informa una emisión de fuentes fugitivas de 0,25 ton/día que equivale a 0,133 kg TRS/ton pulpa procesada (valor calculado).
Nueva Aldea	Tienen sistema de gases no condensables concentrados y diluidos. En el estudio de impacto ambiental se informa una emisión de fuentes fugitivas de 0,31 ton/día que equivale a 0,11 kg TRS/ton pulpa procesada (valor calculado).
Laja 1	En los informes estándar de cumplimiento del D.S. Nº 167 se reporta que existe un sistema de recolección de gases no condensables concentrados (digestores y evaporadores), sin embargo falta por considerar el sistema de gases no condensables diluidos. Por lo anterior, los cálculos se estiman en función de todas las emisiones antes mencionadas, sin incluir las fuentes de digestores y evaporadores
Laja 2	En los informes estándar de cumplimiento del D.S. Nº 167 se reporta que existe un sistema de recolección de gases no condensables concentrados (digestores y evaporadores), sin embargo falta por considerar el sistema de gases no condensables diluidos. Por lo anterior, los cálculos se estiman en función de todas

	las emisiones antes mencionadas, sin incluir las fuentes de digestores y evaporadores
Santa Fe 1	Esta línea fue mejorada recientemente y se agregó un sistema de recolección de gases diluidos, por lo tanto se consideran un factor de emisión de 0,11 kg TRS/ton pulpa (valor obtenido calculado a partir de la Tabla 6-4).
Santa Fe 2	Esta línea es reciente y posee un sistema de recolección de gases diluidos y concentrados, por lo tanto se considera un factor de emisión de 0,11 kg TRS/ton pulpa (valor obtenido calculado a partir de la Tabla 6-4)
Pacífico	En el informe estándar de cumplimiento del D.S. Nº 167 se reporta que existe un sistema de recolección de gases que incluye a las emisiones del stripper, evaporadores y el digestor. No se hace mención a fuentes de gases no condensables diluidos. Por lo anterior se considera las emisiones misceláneas y del área de lavado.

Fuente: Elaboración propia, 2009.

**Tabla 6-6: Estimación de emisiones fugitivas de gases TRS por planta de celulosa en Chile.**

	<b>Producción ADt pulpa</b>	<b>Factor de emisión kg TRS/ADt*</b>	<b>ton TRS/año</b>
Licancel	145.000	0,31	44,95
Constitución	350.000	0,25	87,50
Arauco 1	271.260	0,93	252,27
Arauco 2	516.436	0,93	480,29
Valdivia	550.000	0,13	87,50
Nueva Aldea	1.027.000	0,11	108,50
Laja 1	106.560	0,93	99,10
Laja 2	253.440	0,93	235,70
Santa Fe 1	380.000	0,13	48,54
Santa Fe 2	780.000	0,11	82,41
Pacífico	520.000	0,31	161,20
<b>Total</b>	<b>5.034.696</b>		<b>1687,95</b>

Fuente: Elaboración Propia.\*Factores calculados a partir de los factores de emisión de la Tabla 6-3 y los criterios mencionados en la Tabla 6-5. (Ver anexo 21.6).

Finalmente se presenta el resumen de las emisiones de TRS por fuentes fijas y las fuentes fugitivas en la Tabla 6-7.

**Tabla 6-7: Estimación de las emisiones totales de gases TRS para las plantas de celulosa en Chile**

<b>Planta</b>	<b>Ton TRS/año</b>
Licancel	71,11
Constitución	140,99

Arauco 1	266,35
Arauco 2	512,16
Valdivia	98,08
Nueva Aldea	130,36
Laja 1	408,95
Laja 2	243,82
Santa Fe 1	66,20
Santa Fe 2	97,27
Pacífico	198,26
<b>Total</b>	<b>2233,54</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

## 7. POBLACIÓN AFECTADA POR LA EMISION DE GASES TRS

Las plantas de celulosa se encuentran ubicadas cercanas a localidades habitadas, las cuales pueden ser afectadas por las emisiones atmosféricas de estas plantas. En base a lo anterior, existen estudios que señalan que el impacto de las emisiones de gases odoríficos (TRS) puede ser de hasta 8 a 9 km (EIA "Obras nuevas y actualizaciones del complejo forestal industrial Itata", 2004). En base a estos antecedentes, la Tabla 7-1 muestra las comunas donde existen plantas de celulosa y las localidades más cercanas a los focos de emisión de estos compuestos odoríficos, informando la cantidad de habitantes potencialmente afectados (INE, Censo 2002).

**Tabla 7-1: Población potencialmente afectada.**

Planta	Comuna	Localidades más cercana			
		Localidades	Distancia a la planta	Habitantes	% de habitantes afectados por comuna
Licancel	Comuna de Licantén, 6.902 hab.	Licantén	3 km	3.629	53
Constitución	Comuna de Constitución, 46.081 hab.	Constitución	La planta se encuentra en esta localidad	33.914	74
Arauco	Comuna de Arauco, 34.873 hab.	Laraquete	6 km	4.605	13
		Arauco	9 Km	16.291	47
		Carampangue	4 km	3.373	10
Valdivia	Comuna de Mariquina, 18.223 hab.	San José de la Mariquina	6 km	7.790	43
Nueva Aldea	Comuna de Ránquil, 5.683 hab.	Nueva Aldea	2 km	299	5
		Ñipas	8 km	1.337	24
Laja	Comuna de Laja, 22.404 hab.	Laja	La planta se encuentra en esta	22.404	100

56

		localidad			
		San Rosendo	3 km	3.918	100
Santa Fe	Comuna de Nacimiento, 25.971 hab	Nacimiento	La planta se encuentra en esta localidad	20.884	80
Pacifico	Comuna de Collipulli	Mininco	a menos de 1 km	1.766	8

Fuente: Elaboración Propia basados en el INE Censo 2002.

## 8. MODIFICACIONES Y REVISIÓN DE LA NORMA

En función de la información recolectada, normativa internacional, equipos de abatimientos, caracterización de las plantas y cumplimiento de la normativa actual se propone las siguientes modificaciones al D.S. N° 167/99.

### 8.1. Análisis del límite de emisión de la caldera recuperadora

Al comparar el límite de emisión de 5 ppmv con la normativa internacional y a las mejores tecnologías disponibles (BAT), los límites de emisión establecidos en el D.S N° 167 se encuentran concordantes con la realidad mundial para la caldera recuperadora en una planta de celulosa.

En función de las emisiones identificadas por cada planta en los informes estándar de cumplimiento del D.S. N° 167 y la información adicional de la SEREMI de Salud de la VII Región (relacionada a las plantas de la VII región), todas las plantas cumplen con los límites establecidos, a excepción de la caldera recuperador N° 4 de Planta Laja que registra concentraciones de gases TRS en el orden de las 200 ppmv promedio (informes estándar D.S 167/99), muy por encima del límite actual fijado en 5 ppmv. Sin embargo, en relación a este último punto, ya está establecida la existencia de un proyecto "Modernización de Planta Laja 2008" el cual abordara este tema.

#### Medida a considerar:

Con los antecedentes anteriores, se propone entonces mantener el límite de emisión en 5 ppmv y considerar un periodo de evaluación mensual y no anual

**Reducción efectiva:** Reducciones asociadas al mayor control de las emisiones generando una mayor regulación y por ende menos emisiones.

### 8.2. Análisis del límite de emisión del horno de cal



Al comparar el límite de emisión de 20 ppmv con la normativa internacional se observa que en otros países son más estrictos en relación a los límites de concentración de gases TRS en las emisiones del horno de cal. Actualmente EE.UU. posee un límite de concentración de 9 ppmv en (8% O<sub>2</sub>), y los límites establecidos en las directrices del IPPC-BAT en la Unión Europea establecen un límite de 7 ppmv (8 % O<sub>2</sub>). Actualmente todas las plantas en nuestro país cumplen con la normativa local de TRS (20 ppmv, al 8% de O<sub>2</sub>) verificándose que las plantas nuevas reportan concentraciones de gases TRS en las emisiones menores a 8 ppmv (percentil 98) y las antiguas menores a 15 ppmv (percentil 98).

### **Medida a considerar:**

Bajar el límite de emisión de 20 a 15 ppmv (similar a la norma finlandesa) lo cual involucra medidas de gestión, control e instrumentación de procesos para las plantas. Esta modificación forzaría a las plantas de celulosa a mantener y mejorar su sistema de gestión y control para la operación del horno de cal y sus equipos relacionados. Por ejemplo, las emisiones de gases TRS deberían reducirse en el horno de cal con un adecuado funcionamiento del equipo y control de los residuos de sulfuro de sodio en el lodo de cal. Esto se puede lograr con un buen lavado y filtrado del lodo de cal para eliminar el sulfuro de sodio y disminuir el contenido de agua (a unos 20 a 30 por ciento).

**Reducción efectiva en plantas existentes:** de 20 a 15 ppmv.

**Reducción efectiva en plantas nuevas (que entren en operación después del 2009):** de 8 ppmv.

### **8.3. Análisis del límite de emisión del estanque disolvedor**

El límite establecido en el D.S. N° 167/99 para la emisión de gases TRS en el estanque disolvedor es 16,8 mg TRS/kg SS (sólidos secos). Este valor es comparable al límite actual de EE.UU. y el estado de Quebec en Canadá.

Al revisar las emisiones identificadas por cada planta en los informes estándar de cumplimiento del D.S. N° 167 y la información adicional del SEREMI de Salud de la VII Región, todas las plantas estarían cumpliendo con los límites establecidos. Sin embargo, es necesario mencionar que algunas plantas Chilenas no poseen esta fuente de emisión de gases TRS (Planta Nueva Aldea, Valdivia, Constitución y Santa Fe 2) ya que la tecnología de la planta considera la captación y tratamiento de los gases de este equipo.

### **Medida a considerar:**

- Eliminación del estanque disolvedor como fuente emisora de gases TRS mediante la exigencia de recolección y tratamiento de los gases generados en este equipo.

**Reducción efectiva:** De 16,8 mg TRS/kg SS a tratamiento gases en otras unidades.

#### **8.4. Incorporar otras fuentes fijas al plan de monitoreo de gases TRS**

La información recopilada en relación a las características propias de las plantas existentes en nuestro país, especifica que en algunos casos los gases TRS son quemados permanentemente en otros equipos que no están normados. Estos equipos son la caldera de poder y/o un incinerador dedicado. En relación a este punto la norma de incineración DS N°45/07 queda excluida la incineración de gases TRS, porque está contenido en DS 167/99.

##### **Medida a considerar:**

- Normar una emisión de 5 a 10 ppmv (similar a la caldera recuperadora), para la caldera de poder y los incineradores en caso de que estos se utilicen de manera permanente y no como equipo de respaldo. Esta medida conlleva equipos de monitoreo los cuales registrarán de forma continua concentraciones de gases TRS al igual que para la caldera recuperadora.
- Normar en función de la Temperatura de combustión mediante el monitoreo continuo de esta variable, especificando el límite inferior y el cumplimiento diario.

#### **8.5. Monitoreo del estanque disolvedor**

Al revisar las mediciones realizadas para el estanque disolvedor no se justifica la exigencia del percentil 95, ya que en algunos casos sólo se realiza una medición al año.

##### **Medida a considerar:**

- Aumento de la frecuencia de las mediciones al año en el estanque disolvedor. Por lo menos 4 veces al año, en función de la entrega de informes de las plantas que son cada 3 meses según lo establecido en el DS N° 167/99.

#### **8.6. Agregar Sistema de recolección de gases diluidos**

A través de la información obtenida del SEIA, la información solicitada a la CONAMA y los informes estándar de cumplimiento del D.S. N° 167/99, se establece y verifica la existencia y el estado del sistema de recolección de gases de cada planta. En función de lo anterior, se puede inferir que existen plantas que requieren un sistema de control de fuentes de gases diluidos con TRS en el proceso.

### Medida a considerar:

- Incluir fuentes difusas de emisión de TRS al sistema de recolección de gases en las plantas que lo requieran, principalmente fuentes de gases diluidos no condensables. Este sistema en general recolecta los gases de las áreas de lavado y clasificación y estanques en las zonas de digestión, caustificación y evaporación. Esta medida considera la inversión en tuberías de gran diámetro, ya que se requiere transportar grandes volúmenes de gases con bajas concentraciones de gases TRS. También requiere incorporar el un Scrubber en algunos casos y conexiones hacia un sistema de combustión que en la mayoría de los casos es la caldera de recuperación.
- **Reducción efectiva:** Las plantas bajan sus emisiones fugitivas al orden de 0,13 kg TRS/ADt, valor obtenido en base a las plantas de celulosa más nuevas que poseen sistema de recolección de gases diluidos (Información del SEIA para el caso de Nueva Aldea y Valdivia).

### 8.7. Medida de gestión orientada a la cuantificación de fuentes fijas y fugitivas en la planta

Si bien existen plantas de celulosa en país donde se ha implementado un sistema recolector de gases (según información entregada en informes estándar), continúa la necesidad de identificar y cuantificar fuentes fugitivas y no controladas de los gases TRS.

### Medida a considerar:

- Exigir a las empresas a tener un lay-out del proceso en escala de colores o un inventario de sus emisiones. En este se deben identificar los focos de emisión de gases TRS para las fuentes puntuales y difusas, con la respectiva cuantificación de las emisiones ya sean mediante estimaciones y/o mediciones directas. Esto se puede realizar con factores de emisión o mediante mediciones de las fuentes fugitivas.

### 8.8. Monitoreo en la planta de tratamiento de riles

La planta de tratamiento de riles también ha sido considerada como una fuente importante de emisiones de gases TRS no regulada, la cual también ha sido reconocida en los informes estándar de la planta Arauco como una fuente fugitiva de olores.

### Medida a considerar:

- En primera instancia se propone un plan de monitoreo y de gestión para reducir los olores generados en el proceso de depuración de los riles

### 8.9. Resumen de la modificación de la norma

El resumen de la medidas y revisión de la norma se presenta a continuación en la Tabla 8-1.

**Tabla 8-1: Resumen asociada a la modificación de la norma y las medidas de gestión.**

Equipo Emisor	DS 167 vigente	Forma de gestión	Comentario adicional
Caldera recuperadora	5 ppmv, Concentración H <sub>2</sub> S (percentil 98)	No se visualiza espacio para reducir los valores límite. Valores en cumplimiento en las plantas de celulosa. El límite para el promedio diario según IPPC-BAT (Integrated Pollution and Prevention Control) en la Unión Europea es 5 ppmv (valores promedios del día).	También se tiene información para el caso de la normativa de Canadá (BC). El límite máximo diario es de una concentración 16 ppmv el cual puede ser superado por el total de una 1 hora al día. También existe un límite mensual de 7 ppmv, el cual puede ser superado por un total de un 1 día al mes.
Horno de Cal	20 ppmv, Concentración H <sub>2</sub> S (percentil 98)	Valores en cumplimiento en las plantas de celulosa, se analiza espacio para reducir los valores límite. El límite para el promedio diario según IPPC-BAT (Integrated Pollution and Prevention Control) en la Unión Europea es 7 ppmv (Los valores límites Diarios representan valores promedios del día).	También se tiene información de un estudio ambiental para el caso de Tasmania en el que se propone un límite de emisión mensual que es de 16 ppmv, el cual puede ser superado por un total de 36 horas al mes.
Estanque Disolvedor de Licor Verde	16.8 mg/kg de sólidos secos, Concentración H <sub>2</sub> S	Se recomienda considerar captación y tratamiento de gases TRS de esta fuente (caldera o incinerador)	Al ser la mayoría estanques abiertos y no saber con certeza el flujo de gas que se genera resulta difícil evaluar el cambio de unidades. Se revisará el cambio de unidades de medición para esta fuente emisora.
Digestor, Evaporadores, stripper de condensado, estanque de licor.	Se regula la captación y tratamiento	Mantener y focalizar acciones para mejorar la captación y tratamiento de los gases TRS desde estas fuentes.	Realizar mapa de emisiones en la planta mediante métodos estimativos por factores de emisión, balance de masa y/o mediciones. Esto generará una red de información sumamente importante para la gestión de olores de las plantas de celulosa.

Venteos	Se regula la modalidad y registro de venteos	Evitar envío de venteos directos a la atmósfera. Requerimientos de incineración y/o tratamiento mediante equipos de respaldo.	Estas corresponden más que nada a medidas de gestión y coordinación del área de operación de la planta
Planta de riles	No se regula	Considerar incorporar plan de monitoreo y gestión para reducir emisiones de TRS de esta fuente.	Monitorear, entrega información acerca de las emisiones de esta fuente la cual NO es normada.
Sistema recolector de gases diluidos	Falta por implementar en muchas plantas	Identificar las fuentes principales para aplicar medidas de mitigación	Es necesario la identificación de las fuentes con el fin de optimizar el proceso de recolección, para lo cual ayudaría el mapa y inventario de las emisiones en la planta
Combustión de gases TRS en caldera de poder y incinerador cuando estos se ocupen de manera permanente.	No se regulan estas Fuentes fijas	Monitoreo continuo para gases TRS	Monitorear, entrega información acerca de las emisiones de estas fuentes las cuales no son normadas. Condiciones similares de límites e informes que a las exigidas para la caldera recuperadora.

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

## 9. ANÁLISIS DE COSTOS ASOCIADO A LA MODIFICACIÓN DE LA NORMA

### 9.1. Introducción a la Estimación de Costos

Para la estimación de los costos asociados a la modificación de la norma de emisión, se ha considerado el análisis, principalmente, de 3 grupos de costos. El primero está asociado a la reducción de emisiones de gases TRS de las plantas de celulosa, específicamente a través de la implementación de medidas de abatimiento y cambios de equipos. El segundo tiene que ver con la implementación del monitoreo de otras fuentes no normadas y el aumento de la frecuencia de monitoreo en equipos ya normado. Finalmente, el tercero se relaciona con medidas de gestión orientadas a la cuantificación de fuentes fugitivas en la planta.

### 9.2. Estimación de Costos de los equipos de abatimiento y cambio de equipos

Para estimar los costos de equipos de abatimiento y conversión de equipos se utilizó bibliografía existente, entre ellos el informe "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill" y el documento "Emission and odour control in Kraft pulp mills" (2008). Estos estudios e informes estiman los costos de capital (equipo, diseño, instalación, construcción, equipos auxiliares y instrumentación entre otros) y costos de operación. Se consideró un factor de corrección para los equipos expresados en valor pasado, para así obtener a un valor más actualizado, lo cual se realizó mediante el índice de costos para plantas químicas, CEPCI (en anexo 21.10 se muestran los índices de costos). También se realizó, en los casos necesarios, ajustes a los costos en función de la producción (ver anexo 21.4).

### **9.2.1. Costos de mejora en el control de la operación del horno de cal**

Para el escenario que involucra la modificación del D.S. N° 167, en términos de una posreducción en el valor límite para la concentración de gases TRS en las emisiones atmosféricas del horno de cal (disminución de 20 a 15 ppmv). Se estimó un costo asociado a una mejor gestión, ingeniería y la implementación de nueva instrumentación para el control y optimización del equipo y el proceso propiamente tal. Para estimar los costos, se utilizó como fuente de información el documento "Emission and odour control in Kraft pulp mills" Bordado y Gomez, 2003" y los costos de ingeniería y gestión se asociaron a la contratación de personal (costos de operación).

### **9.2.2. Costos de eliminar el estanque disolvedor como fuente emisora**

Para estimar los costos de esta medida se supuso un sistema de recolección de gases asociado a una fuente fija. Entonces en base a lo anterior, se asoció el costo de recolectar los gases TRS de un estanque disolvedor al de un digestor Batch, ya que considera sólo la construcción de cañerías, recolección de los gases y la combustión de éstos en equipos ya existentes.

El documento de donde se extrajo el costo de la medida es "Kraft Pulping, Control of TRS Emissions from Existing Mills" (EPA, 1978).

### **9.2.3. Costo del sistema recolector de gases no condensables diluidos**

El costo de adquisición e implementación de un sistema de recolección de gases TRS se estimó considerando que las plantas más antiguas, o las que no han presentado proyectos en el SEIA, aún no han implementado la recolección de los gases no condensables diluidos. En base a lo anterior, se estimó los costos de un sistema recolector de gases diluidos en base al informe "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill", 2008, en el cual se considera los costos de capital y de operación para implementar estos sistemas de manera integral para plantas

ya existentes. Este sistema consiste en las nuevas líneas de recolección y la adaptación de la caldera recuperador para procesar gases diluidos.

### 9.3. Costos por monitoreo

Para efectos de estimar los costos de monitoreo se utilizó el "Manual de costos de control de la contaminación en el aire de la EPA (EPA 452/B-02-002). Sección 2, Equipo Genérico y Dispositivos. Capítulo 4, Monitores", y también se solicitaron cotizaciones de equipos monitores a proveedores nacionales (ver Anexo 21.13). Para el caso del monitoreo del estanque disolvidor se consulto directamente a las empresas (visita a terreno) el costo asociado a las mediciones mediante el método EPA -16-A que es 8 MM\$ (0,0145 MMUS\$) de pesos.

### 9.4. Costos de las medidas de gestión orientadas a la cuantificación de fuentes fugitivas en la planta

Los costos relacionados a esta medida se enfocan principalmente en el capital humano especialista y conocedores de las plantas de celulosa, los cuales desarrollarían un proyecto de gestión orientado a la confección de un mapa de emisiones de gases TRS y sus alcances. Este mapa consiste en cuantificar todas las emisiones de las plantas, identificar las emisiones y cuantificarlas mediante mediciones o estimaciones. Para esto se supone contar con un equipo profesional (ingeniero de especialidad ambiental y técnico del área química) para el proyecto, dedicado a este tema por un periodo de 6 meses.

### 9.5. Resumen de las plantas que incurren en costos

En relación a los costos antes presentados, en la Tabla 9-1 se detalla un resumen de las plantas que deben incurrir en estos costos, lo cual se verificará en el capítulo siguiente al realizar la evaluación económica.

**Tabla 9-1: Resumen de las plantas que deben incurrir en los costos antes mencionados.**

Costos	Plantas que asumen el costo	Plantas que han implementado la medida	Proyectos en el SEIA
<b>Costos de los equipos de abatimiento y cambio de equipos</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Control de la operación del horno de cal</li> </ul>	Planta Pacífico, Constitución, Santa Fe 1 y Arauco 2	Todas las demás tienen un eficiente sistema de operación y de gestión en relación a el horno de cal lo que se refleja en las bajas emisiones de 8 ppmv	-----
<ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminar el estanque disolvidor como fuente emisora</li> </ul>	Planta Pacífico, Laja (línea 1 y 2), Arauco (línea 1 y 2),	El resto de las plantas ya ha implementado esta medida.	Planta Laja

	Licancel y Santa Fe 1		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolector de gases no condensables diluidos</li> </ul>	Planta Licancel, Constitución, Pacífico, Laja (línea 1 y 2), y Arauco (línea 1 y 2)	Valdivia, Nueva Aldea y Santa Fe	Planta Laja, Santa Fe y Nueva Aldea.
<b>Costos por monitoreo</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreos fuentes Fijas nuevas</li> </ul>	Laja en caldera de poder quema su gases y Arauco en un incinerador dedicado	Las demás plantas no ocupan la caldera de poder y un incinerador dedicado para la combustión de TRS	-----
<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo planta de efluentes</li> </ul>	Todas las plantas	-----	-----
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de frecuencias en monitoreos del estanque disolvedor</li> </ul>	Planta Pacífico, Laja (línea 1 y 2), Arauco (línea 1 y 2), Licancel y Santa Fe 1	El resto de las plantas no necesitan medir, ya que recolectan los gases del estanque disolvedor.	-----
<b>Costo de medidas de gestión orientadas a la cuantificación de fuentes fugitivas en la planta</b>	Todas las plantas	-----	-----

Fuente: Elaboración propia, 2009.

## 10. EVALUACIÓN ECONOMICA DE LOS ESCENARIOS PLANTEADOS

En esta sección se evalúan económicamente distintos escenarios de manera individual para verificar su costo efectividad en función de la reducción de emisiones de gases TRS al año. Para realizar las evaluaciones se consideró una vida útil de los equipos y medidas de 20 años y una tasa de descuento de un 6 %. Como una forma de comparación de los costos de las medidas propuestas, se calculó el costo actual neto (CAN) y el costo anual equivalente (CAE) en cada uno de los casos evaluados.

### 10.1. Evaluación económica para la medida orientada al horno de cal

La evaluación económica para este caso considera sólo a las plantas que están cercanas al valor de emisión de 15 ppmv (percentil 98). Entonces las plantas evaluadas son las que se muestran en la Tabla 10-1.

**Tabla 10-1: Plantas consideradas en el Análisis**

Planta	Concentración ppmv
Arauco 2	15
Santa Fe 1	14



Pacífico	14
Constitución	16,5*

**Fuente:** Elaboración propia. Informes estándar de cumplimiento, Datos promedios del 2008-2007.\* Reporte 2005-2006 del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC. No se consideran la planta de la Licancel, ya que no se tienen datos concretos de emisión.

En la Tabla 10-2, se presentan los parámetros de referencia y los resultados para la evaluación económica de la medida relacionada al horno de cal, que consiste en gestión, implementación y actualización de los sistemas de instrumentación y control del equipo emisor de gases TRS.

**Tabla 10-2: Evaluación económica de la medida del horno de cal.**

Parámetro	Valor
<sup>a</sup> Costo Capital, instrumentación y control (2000) MMUS\$	0,1
<sup>b</sup> Costo operación (equipo profesional) MMU\$/año (2008)	0,043
Índice costo de planta química, CEPCI 2008	575
Índice costo de planta química, CEPCI 2000	394
Factor de corrección por el CEPCI	1,46
Costo Capital, instrumentación y control (2008) MMUS\$	0,146
Costo de Capital para las 4 Plantas	0,58
Costo de operación para las 4 Plantas	0,17
CAN MMUS\$	2,6
CAE MMUS\$/año	0,223

Fuente: Elaboración propia, 2008.\*Bordado y Gomes, 2003. <sup>b</sup>Estimación según sueldos de ingenieros y técnicos en Chile

## 10.2. Evaluación económica considerando la eliminación de las emisiones de gases TRS del estanque disolvedor

Para la evaluación de esta medida, se considera su implementación en todas las plantas que poseen la descarga al ambiente, ya sea tratada mediante un scrubber o sin tratamiento. En base a lo anterior las plantas a las cuales se le aplica la medida se muestran en Tabla 10-3.

**Tabla 10-3: Estimación de emisiones de TRS del estanque disolvedor.**

Planta	Ton TRS/año
Licancel	0,5
Arauco 1	4,5
Arauco 2	8,1
Laja 1*	1,4
Laja 2*	2,5
Santa Fe 1	5,4
Pacífico	11,7

Total	<b>34,1</b>
-------	-------------

Fuente: Elaboración Propia, 2009.\*Proyecto en curso según SEIA

En la Tabla 10-4 se presentan los parámetros de referencia y los resultados para la evaluación económica de la medida relacionada al estanque disolvedor.

**Tabla 10-4: Evaluación económica relacionada a la eliminación del estanque disolvedor como fuente contaminante.**

Rango de producción de las plantas evaluadas en el documento de referencia ADt/día	500-1500	
Costo de recolección de gases de sistema de referencia (un digestor Batch,1976) MMUS\$	0,9-1,9	
Costo operación (suposición de un 10-9 % sobre la inversión)* MMUS\$	0,084-0,17	
Índice costo de planta química, CEPCI 2008	575	
Índice costo de planta química, CEPCI 1976	192,1	
Factor de corrección	2,99	
	Costo de sistema de gases diluidos MMUS\$	Costos de operación MMUS\$/año
Plantas		
Licancel	0,79	0,02
Arauco 1	2,09	0,05
Arauco 2	4,60	0,10
Santa Fe 1	3,20	0,07
Pacífico	4,64	0,10
Costo total para todas las plantas	15,32	0,34
CAN MMUS\$	<b>19,3</b>	
CAE MMUS\$/año	<b>1,7</b>	

Fuente: Elaboración Propia.\* Esta suposición esta realizada en función de los sistemas de recolección de gases concentrados y diluidos del documento Alberta environment: "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill", 2008

### 10.3. Evaluación económica considerando la implementación de un sistema recolector de gases diluidos

Para clasificar a las empresas en la cuales recae esta medida, se consideran 2 grupos de empresas. El primero se refiere a las plantas que sólo han implementado recolección de gases concentrados no condensables, según información de los informes estándar, y el segundo que se refiere a las plantas nuevas y las que han sufrido importantes cambios últimamente. En función de lo anterior, solo las plantas indicadas en la Tabla 10-5 serán consideradas para esta medida.

**Tabla 10-5: Plantas que necesitan tratar sus gases no condensables diluidos.**

Plantas que necesitan aplicar DGNC	Producción pulpa ADt/día	Emisiones TRS ton/año
Licancel	414	44,95
Constitución	1000	108,50
Arauco 1	775	252,27
Arauco 2	1476	480,29
Laja 1*	304	99,10
Laja 2*	724	235,70
Pacífico	1486	161,20

Fuente: Elaboración Propia, 2009. \*Proyecto en curso según SEIA

En la Tabla 10-6, se presentan los parámetros de referencia y los resultados para la evaluación económica de la medida relacionada la implementación de un sistema recolector gases diluidos no condensables (DNCG).

**Tabla 10-6: Evaluación económica relacionada a la implementación de un sistema recolector de DNCG.**

Rango de producción de las plantas evaluadas en el documento de referencia ADt/día	300-800	
Costo de sistema recolector DNCG (2007) MMUS\$	3,83-9,35	
Costo operación MMUS\$/año	0,36-0,85	
Índice costo de planta química 2008	575	
Índice costo de planta química 2007	525	
Índice costo de planta química 2002	395	
Factor de corrección 2008-2007	1,09	
Plantas que necesitan aplicar DGNC	Costo de sistema de gases diluidos MMUS\$*	Costos de operación MMUS\$/año**
Licancel	3,9	0,16
Constitución	8,9	0,38
Arauco 1	7,0	0,30
Arauco 2	12,9	0,57
Pacífico	13,0	0,57
Total	45,55	1,98
CAN MMUS\$	<b>68,3</b>	
CAE MMUS\$/año	<b>6,0</b>	

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

En el anexo 21.4 y 21.5, se detallan los cálculos y supuestos relacionados a estos cálculos.

#### 10.4. Evaluación económica considerando el aumento de frecuencia en el monitoreo del estanque disolvedor.

La evaluación económica se asocia al aumento de la frecuencia de los monitoreos de este equipo emisor, ya que en la actualidad solo se exige una vez al año la medición. En base a lo anterior se plantean 2 situaciones, medir trimestralmente, es decir, 4 veces al año (para entregar la información junto con los informes trimestrales obligatorios que deben facilitar las empresas) y el otro caso realizar mediciones mensuales. Para las 2 alternativas se presenta la evaluación económica en la Tabla 10-7.

**Tabla 10-7: Evaluación económica relacionada al aumento de la frecuencia en el monitoreo del estanque disolvedor.**

	MM\$	MMUS\$	
Costo de un monitoreo EPA -16 A (Información visitas a Terreno )	8*	0,0145*	
Plantas que tienen incurrir en este costo			
	Costo medición 1 vez al año MMUS\$	Costo medición 4 veces al año MMUS\$	Costo medición mensual MMUS\$
Plantas			
Licancel	0,015	0,058	0,175
Arauco 1	0,015	0,058	0,175
Arauco 2	0,015	0,058	0,175
Laja 1	0,015	0,058	0,175
Laja 2	0,015	0,058	0,175
Santa fe 1	0,015	0,058	0,175
Pacifico	0,015	0,058	0,175
<b>Costo Total al año</b>	<b>0,102</b>	<b>0,407</b>	<b>1,222</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2009. \*Costo referencial obtenido de reunión mantenida con celulosa Arauco durante el periodo de visitas a terreno.

#### 10.5. Evaluación económica considerando la implementación de un sistema de monitoreo en fuentes que incineran gases TRS, no normadas

La evaluación económica se asocia a la instalación de sistemas de monitoreo continuo en equipos de combustión de los gases TRS, como lo son el incinerador y la caldera de poder, cuando estos equipos se ocupan de manera permanente. Bajo esta condición, la Planta Laja quema sus gases TRS en la caldera de poder N° 1, y la Planta Arauco ocupa de

manera permanente un incinerador para tratar estos gases. En función de lo anterior, se necesitarían instalar 2 equipos nuevos de monitoreo de gases TRS, uno para la caldera de poder de laja, y 2 equipos más para la planta de Arauco (Horcones). En función de lo anterior, y considerando un sistema de medición continua de tipo extracción (el sistema extrae una muestra en un sitio especificado en la corriente de gas residual y la transporta hasta el monitor en un área ambientalmente protegida) para la medición de gases TRS. Las estimaciones de costos se muestran en la Tabla 10-8.

**Tabla 10-8: Evaluación económica relacionada a la implementación de un sistema de monitoreo continuo tipo extractivo fuentes no normadas.**

Costo de inversión de equipo de monitoreo MMUS\$	0,16244		
Costo de operación MMUS\$/año	0,01416		
Plantas a monitorear	Nº de fuentes	Costo de inversión MMUS\$	Costo de operación MMUS\$/año
Arauco (Incinerador dedicado)	1*	0,162	0,014
Total	1*	0,162	0,014
CAN MMUS\$	0,325		
CAE MMUS\$/año	0,028		

**Fuente:** Elaboración Propia, 2009. En anexo 21.13.2 se detalla el método utilizado para estimar los costos (cotización AyT).

\*En visita a terreno se comprobó que Arauco monitorea esta fuente con un sistema CEMS y tiene un compromiso con la autoridad de un límite de 20 ppmv pudiendo llegar técnicamente entre 5 y 7 ppmv.\*\*Solo se considera el costo de planta Laja ya que no posee medición en este equipo que lo ocupa de manera permanente para la incineración de gases

### 10.6. Evaluación económica considerando la implementación un sistema de monitoreo y gestión en la planta de efluente

La evaluación económica de la medida de gestión se considera principalmente asociada al monitoreo, con lo cual se planea evaluar en primera instancia cuales son los aportes verdaderos de esta fuente y así tomar decisiones en la gestión y operatividad de la planta de tratamiento.

### 10.7. Evaluación económica de la medida de confección del mapa de emisiones de gases TRS de la planta.

La evaluación económica considera la contratación de personal, para un proyecto de confección de un mapa de emisiones. La evaluación se muestra en la Tabla 10-9.

**Tabla 10-9: Evaluación de la medida de confección del mapa de emisiones de la planta.**

	US\$/año
Contratación de Ingeniero	12.857
Contratación de Técnico	6.429

Insumos y costos de operación	10.714
Costo total por proyecto de confección del Mapa de emisiones por cada planta de celulosa	30.000
Costo total para las 8 plantas de celulosa	240.000
<b>Costo total para las 8 plantas de celulosa MMUS\$</b>	<b>0,24</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2009.\*Son valores calculados a un plazo de 6 meses, de duración del proyecto. Este es un costo que considera que todo proyecto lo realiza gente externa a la planta.

## 11. GRADUALIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS

Para realizar un análisis de la implementación y gradualidad de las medidas evaluadas es necesario, clasificarlas en las que requieren inversión de tecnología e ingeniería y las se refieren a la modificación de un parámetro de la norma o medidas de gestión.

En base a lo anterior las medidas que requieren implementar nuevas tecnologías están sujetas a 4 parámetros principalmente que se relacionan a la divulgación y conocimiento de la norma, la etapa de ingeniería básica y de detalle (recolección de información y diseño), la etapa de construcción e implementación y finalmente la puesta en marcha. Considerando lo anterior y en base a lo revisado en el SEIA en la Tabla 11-1 se presentan los tiempos.

**Tabla 11-1: Plazo de implementación de proyectos de ingeniería.**

<b>Etapa</b>	<b>Duración</b>
Divulgación y conocimiento de la norma	Meses
Ingeniería Básica	0,5-1 años
Ingeniería de detalle	0,5-1 años
Construcción y implementación	3-5 años
Puesta en marcha	0,5-1 años
<b>Total</b>	<b>3,5-8 años</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2009. Tiempos de construcción establecidos en función de los proyectos presentados en el SEIA.

Por otro lado, los tiempos para implementar las medidas de gestión y otras medidas como cambio en algún límite o algún parámetro (nuevos niveles de emisión) se considera sólo la etapa de divulgación y conocimiento de la norma.

**Tabla 11-2: Gradualidad de implementación de la medida.**

<b>Medida</b>	<b>Resultado.</b>
Implementación nuevos límites para la caldera recuperadora.	Esta se exigirá después de 6 meses a partir de la presentación del documento de modificación de la norma, considerando que no requieren invertir en nuevas tecnologías para cumplir con la norma en plantas existentes y de manera inmediata en plantas nuevas

Medidas de control gestión y instrumentación relacionadas al horno de cal que se traduce en bajar el límite a 15 ppmv (8 ppmv plantas nuevas).	Esta es una medida que puede requerir implementación de ingeniería y tecnología que se relaciona a instrumentación y medidas de gestión en la operación del equipo por lo que se plantea un plazo en la implementación de 2 años para plantas existentes. De manera inmediata para plantas nuevas con un límite de 8 ppmv.
Eliminación del Estanque disolvedor como fuente fija.	Esta medida requiere un estudio más a fondo de ingeniería básica y de detalle por lo que se plantea un plazo en la implementación de 48 meses (tiempo estimado en base a la Tabla 11-2).
Implementación de un sistema recolector de gases diluidos.	Esta medida requiere un estudio de ingeniería básica y de detalle por lo que se plantea un plazo en la implementación de 5 años a partir de la presentación del documento de modificación de la norma.
Monitoreos en fuentes fijas no normadas.	Para el caso de la fuentes normadas, se requiere que el monitoreo continuo este implementado para el 2012. Para las nuevas fuentes propuestas se considera un plazo de 1 año (requieren inversión en ingeniería) a partir de la presentación del documento de modificación de la norma.
Aumento de frecuencia de mediciones discretas en estanque disolvedor.	Esta se considera después de manera inmediata a partir de la presentación del documento de modificación de la norma.
Confección de un mapa de emisiones, Inventario de gases TRS.	Esta se considera después de manera inmediata y se realizara cada 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2009.

## 12. EVALUACIÓN ECONOMICA CONSIDERANDO LA TEMPORALIDAD DE LAS MEDIDAS Y LA GRADUALIDAD .DE SU IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se considera lo especificado en los dos capítulos anteriores, los cuales se especifica la evaluación económica individual de las medidas y su gradualidad en la implementación.

Para realizar este análisis se supone que el nuevo decreto modificado entra en vigencia el 2012. Considerando este año como punto de inicio se aplican entonces, en la evaluación económica, los plazos establecidos propuestos en la Tabla 11-2.







**Tabla 12-1: Flujo de caja considerando la gradualidad de las Medidas**

Medida	Año												CAN MMU\$	CAE MMU\$/año										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Medida orientada al horno de cal.	0,00	0,58	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	2,36	0,21
Eliminación de las emisiones de gases TRS del estanque disolvedor.	0,00	0,00	0,00	15,32	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	15,88	1,38
Aumentar frecuencia de monitoreos en estanque disolvedor	1,22	1,22	1,22	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,49	0,39
Implementación de un sistema recolector de gases diluidos	0,00	0,00	0,00	0,00	45,55	1,98	2	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	51,92	4,53
Implementación de un sistema de monitoreo en fuentes que incineran gases TRS, no normadas.	0,16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,32	0,03
Confección del mapa de emisiones de gases TRS de la planta.	0,00	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	2,75	0,24
<b>Total</b>	<b>1,38</b>	<b>2,06</b>	<b>1,65</b>	<b>16,96</b>	<b>46,32</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2,75</b>	<b>77,73</b>	<b>6,78</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2009

### 13. BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA Y SU REVISIÓN

#### 13.1. Análisis de Beneficios

En primer lugar se debe identificar cuáles son los beneficios que se pueden asociar a la calidad del aire por efectos de la reducción de gases TRS.

Freeman (1982), realiza un desarrollo completo respecto de la forma de abordar los beneficios asociados a la mejora en la calidad del aire. En primer lugar, se establece que la reducción de los contaminantes en el aire puede actuar por diversos canales para beneficiar a las personas y en este sentido es importante identificar aquellos efectos benéficos que pueden resultar de la reducción de contaminantes, para luego realizar esfuerzos en identificación de metodologías que permitan estimar estos beneficios y discriminar cuales resultan más relevantes para el caso del presente estudio.

En la siguiente tabla se presenta una descripción de beneficios asociados a la reducción de gases TRS y una primera explicación de cada uno.

**Tabla 13-1: Identificación y Descripción de los Impactos en Sistemas Vivos**  
**Efectos en Sistemas Vivos**

Efectos en Sistemas Vivos		
Salud Humana	Enfermedades y síntomas asociados	Se ha mostrado que existe una relación entre aumento gases TRS en el ambiente, con el aumento de síntomas de infecciones respiratorias, problemas de la vista y neuropsicológicos, entre otros.  En Chile no existen estudios específicos para relacionar los síntomas presentados por personas con las emisiones de los gases TRS de las plantas de celulosa. Sin embargo existen variados estudios en Finlandia, EEUU y Canadá. Estos estudios son específicos a cada zona y son puntuales a cada caso.
Productividad Económica de los Sistemas Ecológicos	Agricultura y Silvicultura	Este beneficio se asocia a aquellos casos en que la calidad del aire pueda afectar rendimientos en la agricultura, por ejemplo se sabe que ácido sulfúrico, puede generar daños al follaje y esto tener efectos en el rendimiento de cultivos específicos.
Productividad	Turismo	Este beneficio se asocia a la posibilidad que puede

Económica Asociada a Actividades Recreativas		una comunidad de explotar el desarrollo de actividades turísticas y recreativas en un entorno de aire limpio, siempre y cuando esta característica permita potenciar el desarrollo turístico.
Otros Efectos en Sistemas Ecológicos que Hacen Impacto Directamente en Actividades Humanas (no comerciales)	Observación de Flora y Fauna	Este beneficio se asocia a las actividades en las que la calidad del aire es parte integral del desarrollo y fortalecimiento de la actividad. Es decir, se puede considerar que si el control de los contaminantes potencia el crecimiento de la flora y fauna del sector, entonces este beneficio es efectivo.

Fuentes: Elaboración Propia, 2009.

**Tabla 13-2: Identificación y Descripción de los Impactos en Sistemas Carentes de Vida**  
**Efectos en Sistemas Carentes de Vida**

Productores	Daño a los Materiales	La contaminación del aire puede causar un deterioro físico de los materiales, principalmente en las edificaciones ocasionando un aumento en los costos de mantenimiento y reparación y un reemplazo en las partes más frecuentes.
Residencias Familiares (No comerciales)	Daño a los materiales	Al igual que en el caso de las industrias, las residencias familiares tienen un impacto semejante respecto al daño en los materiales y reemplazo de elementos de las estructuras.
	Mercado	La mejora en la calidad del aire genera un aumento en los precios de las viviendas.

Fuentes: Elaboración Propia, 2009.

A continuación se desarrolla una discusión del enfoque que se dará a cada uno de los impactos identificados en las Tabla 13-1 y Tabla 13-2, donde se revisa su relación con los sectores cercanos a las plantas de celulosa en Chile (como parte de este AGIES).

### 13.1.1. Salud Humana

Antes que nada es necesario identificar los problemas a la salud que generan los gases TRS y en función de esto se podrá inferir que una disminución de las emisiones de estos gases, ya sea pequeña o grande, se traduce en un mejoramiento en la calidad de vida relacionada al factor salud.

Existen artículos científicos en que se menciona la relación que existe entre la contaminación por los gases TRS y síntomas que presentan personas próximas a las plantas de celulosa.

Desde la década de los 90 ya existen artículos médicos y científicos en Finlandia en que se relaciona la contaminación por los gases TRS con la salud de las personas, entre los cuales destacan publicaciones de Olli Marttila y J.K. Jaakkola relacionadas al área sur oriental de Finlandia, Karelia del Sur, lugar donde existe gran cantidad de plantas de celulosa ubicada a poca distancia de centros urbanos. En general todos estos estudios se realizaron en base a encuestas, en las cuales se identificaban los síntomas en un periodo y lugar de referencia y lo comparan con los lugares cercanos a las plantas y periodos de alta exposición a los gases. En estos estudios se establece que existe cierta relación entre la exposición de gases TRS generados por la planta de Celulosa con la salud de las personas agudizándose problemas de infecciones respiratorias, problemas de la vista y neuropsicológicos, entre otros.

Los artículos consultados fueron los que se muestran en la Tabla 13-3.

**Tabla 13-3: Artículos recopilados en que se establece la relación entre la salud de las personas y la emisión de gases TRS por parte de las celulosas.**

Titulo/fecha	Exposición	Resultado
Jaakkola J.et al (1990) "The South Karelia air pollution study: the effects of malodorous sulfur compounds from pulp mills on respiratory and other symptoms" 1344-1350.	Exposición residencial a valores mayores a: Promedio anual : H2S = 6 ppb CH3SH = 2 ppb Promedio diario : H2S = 70 ppb CH3SH = 24 ppb	La bronquitis crónica y el asma fueron ligeramente más frecuente en las zonas contaminadas que en las comunidades no contaminadas. Problemas oculares síntomas nasales y de tos se encontraron significativamente más a menudo en las comunidades contaminadas. La aparición de los síntomas fue relacionada con la dosis.
Marttila et al 1994. "The south Karelia Air Pollution Study: The effect Of Malodorous Sulfur compounds from pulp mills on respiratory and other symptoms in children"	Exposición a niños y sus padres	Se demuestra una cierta influencia de los gases TRS sobre las comunidades de Karelia (Finlandia). Se identifican un aumento en el dolor de cabeza, tos, síntomas a los ojos y nasales en zonas contaminadas.
Marttila et al 1995 "The south Karelia Air Pollution Study: Daily symptom Intensity in relation to exposure levels of Malodorous Sulfur compounds from pulp mills"	Exposición diaria considerando Baja: menor a 7 ppb Moderada: 7-21 ppb Alta: Mayor a 21 ppb	Se identifican un aumento en el dolor de cabeza, Problemas respiratorios y síntomas oculares en lugares contaminados con gases TRS en concentraciones mayores a 7 ppb
Partti-Pellinen K.et al (1996) The South Karelia air pollution study: effects of low-level exposure to malodorous sulfur compounds on symptoms. Archives of Environmental Health 51, 315-329	Población general exposición a TRS (hasta 100 ppb 24-hr).	Existen más dolores de cabeza, depresión, cansancio y náuseas cuando se superaba 28 ppb durante 1 hora al día.
Jaakkola J.et al (1999) "The South Karelia air pollution study: Changes respiratory health in relation to emission reduction of Malodorous Sulfur compounds from pulp mills".	Exposición de 5,7 a 1,8 ppb	Se presentan síntomas de irritación de los ojos, problemas respiratorios y dolor de cabeza en las personas encuestadas.

Fuentes: Elaboración Propla, 2009.

De la información anterior se infiere, entonces, que la disminución de las emisiones de gases TRS implicaría la disminución de los problemas de salud y por ende el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Es necesario mencionar que a pesar que se reconoce cierta influencia de las emisiones de gases TRS de las plantas de celulosa en la salud de las personas, no se ha cuantificado el efecto de manera general y esto se debe a que los síntomas que generan estos gases se relacionan principalmente con la percepción de las personas frente al gas mal oliente y no es por efectos propiamente tal de la toxicidad del gas. Es por el punto antes mencionado, por lo que se dificulta la cuantificación del efecto sobre la salud de las personas. Para realizar una cuantificación se tendría que generar una serie de encuestas para cada zona cercana a las plantas, lo cual se escapa del alcance de este estudio.

### **13.1.2. Productividad Económica de los Sistemas Ecológicos**

Como se ha indicado, este beneficio se asocia a los casos en que la calidad del aire pueda afectar rendimientos en la agricultura. En relación a este punto es claro que las plantas de celulosa se encuentran cercanas a zonas de importante vegetación y actividades agrícolas y por ende se generaría un efecto negativo sobre la vegetación. En base a lo anterior se ha demostrado que vegetación expuesta a bajas concentraciones de TRS (0,03 a 30 ppm) durante largos períodos de tiempo muestran mucho más daño que las expuestas para duraciones más cortas a altas concentraciones. Una amplia gama de sensibilidad a los gases TRS fue evidente a través de las especies de plantas. De las plantas estudiadas el rábano, la soya, el trébol, el frijol, el trigo sarraceno, el pepino y el tomate están entre las más sensibles (Technical Basis for a Total Reduced Sulfur Ambient Air Quality Standard, 1997).

Si bien se ha estudiado la influencia de de gases TRS sobre la vegetación en el extranjero, no existen estudios específicos en Chile que relaciones el efecto dañino de los gases TRS sobre las plantas. Se necesitaría una serie de datos sumamente específicos relacionados al clima, viento, tipo de vegetación, sensibilidad de las especies vegetales a los gases TRS entre otros. Por lo antes mencionado no se puede cuantificar este efecto.

### **13.1.3. Productividad Económica Asociada a Actividades Recreativas**

Como se indicó, este beneficio puede asociarse con el desarrollo de actividades turísticas y recreativas en un entorno de aire limpio. Por lo anterior la disminución de las emisiones de gases TRS y por ende de los malos olores alrededor de las plantas, se puede traducir en un aumento de actividades recreativas y turísticas. Principalmente a áreas que tienen un enorme potencial turístico como lo son las zonas de Constitución, Arauco, y los sectores cercanos a planta Valdivia. Este efecto no sólo se traduce en el hecho de realiza

actividades recreativas sino que también en un desarrollo económico en el área del turismo.

En función de lo anterior es necesario mencionar que resulta sumamente difícil cuantificar este efecto debido a que se necesita información específica de cada zona, como lo es la situación económica antes que se instalara la planta para cuantificar el efecto actual de las plantas sobre este factor. También otro aspecto que resulta sumamente engorroso es el relacionado a la magnitud del efecto de los malos olores sobre los demás factores contaminante de una planta de celulosa. Por lo antes explicado la cuantificación no resulta posible.

#### **13.1.4. Otros Efectos en Sistemas Ecológicos con Impacto Directo en Actividades Humanas (no comerciales)**

Como se indicó, este beneficio puede asociarse con el desarrollo de actividades donde la calidad del aire sea parte fundamental de actividades recreativas asociadas a la flora y fauna o la observación paisajística. Este aspecto se justifica de manera similar a lo descrito en la sección anterior en que se explica el punto de Productividad Económica de los Sistemas Ecológicos.

Si bien se ha estudiado la influencia de gases TRS sobre la vegetación en el extranjero, no existen estudios específicos en Chile que relacionen el efecto dañino de los gases TRS sobre las plantas. Se necesitaría una serie de datos sumamente específicos relacionados al clima, viento, tipo de vegetación, sensibilidad de las especies vegetales a los gases TRS entre otros. Por lo antes mencionado no se puede cuantificar este efecto.

#### **13.1.5. Daños de Materiales-Productores y Hogares**

Es claro que la cantidad de contaminación en el aire puede causar un deterioro físico de los materiales, principalmente en las edificaciones ocasionando un aumento en los costos de mantenimiento y reparación. Específicamente los gases TRS cuando están presentes en bajas concentraciones y en determinadas condiciones (incluyendo el sulfuro de hidrógeno, sulfuro elemental y compuestos orgánicos de azufre, como los mercaptanos) rápidamente atacan el cobre, plata, aluminio y aleaciones de hierro. Las exposiciones por debajo de 0.005 ppm de los efectos corrosivos son mínimas y no generan daños del material. En niveles tan bajos como 0.01 ppm durante un mes, los efectos corrosivos sobre metales se puede medir y puede ser un factor a determinar en los equipos electrónicos. En concentraciones de hasta 0,05 ppm hay una alta probabilidad de ataque corrosivo. A más de 0,05 ppm se puede esperar una severa corrosión.

En particular para este caso, se dificulta la cuantificación del efecto ya que depende tanto de las emisiones como de las condiciones climáticas. Es por el punto antes mencionado

por lo que se dificulta la cuantificación del efecto sobre los daños directos sobre los materiales. Para realizar una cuantificación se tendría que generar una serie de encuestas para cada zona cercana a las plantas, y mediciones lo cual se escapa del alcance de este estudio.

### **13.1.6. Mercado-Precios de viviendas**

Se ha comprobado en estudios económicos la influencia que tiene la contaminación del aire, específicamente los malos olores, sobre el bienestar económico de la población.

Un ejemplo claro y de proporciones locales es el estudio en el cual se demuestra la influencia de la contaminación del aire por malos olores en la comuna de Talcahuano, producto de las emisiones atmosféricas de la industria pesquera y pesada. El artículo antes mencionado es "Impacto de la percepción de la calidad del aire sobre el precio de las viviendas en Concepción-Talcahuano, Chile". Publicado en Latin American Journal of Economics el 2006. En este estudio se aplica un método indirecto de valoración ambiental, conocido como modelo de precios hedónicos enfoque que ha sido ampliamente usado en economía urbana y ambiental. Los resultados revelan que existe un efecto negativo de los malos olores sobre el precio de las viviendas.

Según lo anterior, se deduce que la disminución de las emisiones de gases TRS y por ende de los malos olores en el ambiente influye positivamente en el precio de las viviendas. Sin embargo, es necesario mencionar que el precio de los inmuebles no sólo depende de este factor, por lo que para hacer el análisis de cuantificación también se deben considerar otras variables, como el material de construcción, locomoción y cercanía a las plantas de celulosa entre otros. También es importante dejar claro que si no existieran las plantas de celulosas el precio de las casas bajaría considerablemente.

Por lo antes mencionado y los múltiples factores que intervienen en este análisis, en particular, se hace difícil la cuantificación del impacto económico específico de los malos olores asociado a los TRS producto de los efectos cruzados entre los factores.

### **13.2. OTROS ASPECTOS DE EVALUACION DE BENEFICIOS**

Existen herramientas MIDEPLAN para evaluar distintos proyectos, entre los cuales se mencionan beneficios por la disminución de olores en los casos de proyectos de agua potable, aguas lluvias y residuos domiciliarios, sin embargo no aparece ninguna forma de cuantificar este efecto en esta clase de proyecto.

Como antecedente adicional, todas estas metodologías además de señalar la dificultad de estimar estos beneficios, indican que considerando esta dificultad y entendiendo que el beneficio justificaría la toma de medidas, la evaluación económica debe centrarse en un análisis Costo - Efectividad.

## **14. ANALISIS COMPLEMENTARIO DE LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS DE LA NORMA**

### **14.1. Introducción y Objetivo de la Valoración de Beneficios**

La valoración de beneficios es una de las etapas más complejas y discutidas de la evaluación económica de una regulación ambiental. Esta afirmación es ampliamente reconocida en el ámbito académico y se recoge incluso en algunas metodologías propuestas por MIDEPLAN para la evaluación de proyectos centrandose en un enfoque costo efectividad. Existen varias técnicas que a pesar de entregar estimaciones con un grado de incertidumbre han sido utilizadas para estos efectos. Es por ello, que en la medida que esto sea posible, medir los beneficios asociados a una mejora en la calidad del aire, y especialmente en la reducción de olores molestos, pasa primero por identificar efectos reales en la economía y luego valorarlos en la medida que el desarrollo metodológico y teórico lo permita. Si no es posible cuantificarlos o valorarlos de modo completo, corresponde dejarlos claramente identificados, explicando la importancia que tienen en la evaluación.

A nivel nacional, no existen estudios específicos para la valoración de los beneficios respecto de la reducción de los malos olores asociados a las plantas de Celulosa y son limitados los estudios que han abordado la evaluación económica de olores. Entre estos estudios se puede mencionar las referencias de Mardones 2006 y Campos et al 2001, ambos estudios han determinados una evaluación económica de los efectos de los malos olores en la ciudad de Talcahuano, el primero utilizando el la técnica de los precios hedónicos y el segundo utilizando la técnica de valoración contingente para determinar la disposición a pagar por la mejora de la calidad ambiental.

A nivel internacional, aplicaciones prácticas de evaluación económica específica sobre la mejora ambiental relacionada a la reducción de olores sobre la celulosa tampoco entrega resultados, pero si algunas aplicaciones asociados a evitar la exposición a malos olores. A continuación en la Tabla 14-1. Se muestra el resumen de los artículos de los cuales se ocuparán como base para estimar los beneficios de disminuir los malos olores.



**Tabla 14-1: Bibliografía relacionada a la cuantificación de beneficios**

Título	Descripción
"Impacto de la Percepción de la Calidad del Aire Sobre el Precio de las Viviendas en Concepción-Talcahuano", Chile. Mardones 2006	En este documento se utiliza una técnica de precios hedónicos, cuantificando el impacto de los olores molestos en el precio de las viviendas en el sector Concepción-Talcahuano.
Estimaciones Paramétricas, Semiparamétricas y no Paramétricas en Valoración Contingente : Aplicación a un problema de Calidad de Aire, Campos Vazquez y Cerda 2001.	Este es un estudio empírico en el cual se estimó la disposición a pagar de los habitantes de Talcahuano por la reducción de malos olores en la ciudad.
Economics of Air Pollution: Hedonic Price Model and Smell Consequences of Sewage Treatment Plants in Urban Areas, Batalhone, Nogueira y Mueller, 2002.	En este trabajo se aplicó el método de valoración de los activos ambientales mediante precios hedónicos a fin de estimar el costo social de la contaminación del aire. Específicamente se demuestra que hay una reducción considerable en el mercado de valores de propiedad debido a la presencia del mal olor en el Medio Ambiente.
Social preferences for improving water quality: an economic analysis of benefits from wastewater treatment. Kontogianni, Langford, Papandreou and Skourtos. Grecia, 2001	En este estudio se utilizó la valoración contingente para examinar la disposición a pagar de los individuos para garantizar el pleno funcionamiento de la depuradora, que conduce a mejoras significativas en la calidad del agua de la bahía de Thermaikos,

Fuentes: Elaboración Propia, 2009.

De la tabla anterior se observa claramente que se han utilizado dos métodos asociados a la estimación de beneficios para la disminución de olores. El primero se refiere a establecer cuánto están dispuestos a pagar los habitantes de una determinada zona por reducir los malos olores y el segundo establece la relación Malos olores-Precios de viviendas.

#### 14.2. Disposición a pagar por reducir los malos olores.

Para valorizar la calidad del aire en función de los malos olores, en estos casos, se utilizan encuestas donde se consulta a las personas, directamente, cuanto están dispuestos a pagar por la eliminación de los olores. En base a lo anterior se poseen dos estudios en los cuales se utilizan esta técnica asignando valor monetario a la disminución de los olores. Los valores se muestran en la Tabla 14-2.

**Tabla 14-2: Valoración de la calidad del aire en relación a los malos olores mediante la disposición a pagar de los habitantes**

Estudio	Rango de Valores	Media del rango	Observaciones
Campos et al 2006	3.392- 3.518 \$/mes	3.455 \$/mes	Este rango se obtuvo de las modelaciones realizadas en el estudio obteniendo el rango superior y inferior
Batalhone et al 2002	10.752-13.922 \$/4 meses	12.337 \$/4 meses	Este valor se obtuvo mediante encuesta consultando con respecto a los malos olores en plantas de tratamiento de aguas servidas

Fuentes: Elaboración Propia, 2009. Valores en Moneda chilena ocupando la conversión de \$ 550 es 1 US\$.

### 14.3. Impacto de los malos olores en las viviendas

Para estos casos se utilizan modelos de regresión para evaluar el impacto de los malos olores en el precio de las viviendas. Estos modelos matemáticos se construyen a partir de la recolección de información estadísticas de las viviendas relacionando variables que influyen en su precio, como lo son las dimensiones de las viviendas, terreno, cercanía a áreas verdes percepción de los malos olores etc. En relación a esta metodología de precios hedónicos se encontraron 2 estudios en que se utiliza, para evaluar el impacto de los malos olores en las viviendas. Los valores se muestran en la Tabla 14-3.

**Tabla 14-3: Rango de valorización del impacto de los malos olores en la vivienda.**

Estudio	Rango de Valores	Media del rango	Observaciones
Mardones et al 2001	868.616- 4.751.191 \$	2.809.903 \$	Este modelo considera la pérdida del precio de la vivienda considerando distintos niveles de percepción del mal olor. Considerando el análisis de calidad de aire que se visualiza en el capítulo 17, la percepción de malos olores se reducirá de moderado a leve, en base a lo cual se obtuvieron estos rangos de valores.
Kontogiann et al 2001	2.543.200 - 5.448.850 \$	3.996.025 \$	Este estudio se considera la existencia o no del olor para realizar la cuantificación del impacto sobre las viviendas

Fuentes: Elaboración Propia, 2009. \$ 550 es 1 US\$.

#### 14.4. Proyección de la población y viviendas beneficiada

Para realizar la cuantificación de beneficios se hace necesario establecer la cantidad de habitantes beneficiados con la modificación de la norma. En base a lo anterior se utilizaron datos del INE de donde se obtuvo las proyecciones de la población de cada comuna en donde se encuentran ubicadas las plantas de celulosa. En base a estos datos y considerando un porcentaje de la población afectada de cada comuna (ver Tabla 7-1, capítulo 7), entonces se obtiene año a año la población beneficiada por la norma.

De manera similar para determinar el número de viviendas beneficiadas por la medida, se estima el número de habitantes por vivienda de cada comuna donde se encuentran las celulosas, en base al censo 2002. Los resultados se muestran en la Tabla 14-4.

**Tabla 14-4: Numero de habitantes por viviendas**

Planta	Comunas Afectadas	Habitantes	Viviendas	Nº de Hab/Vivienda
Licancel	Comuna de Licantén	6902	2.894	2,4
Constitución	Comuna de Constitución	46.081	14.239	3,2
Arauco	Comuna de Arauco	34873	9.529	3,7
Valdivia	Comuna de Mariquina	18223	5.742	3,2
Nueva Aldea	Comuna de Ránquil	5683	2.046	2,8
Laja	Comuna de Laja	22404	6.671	3,4
	Comuna San Rosendo	3918	1171	3,3
Santa Fe	Comuna de Nacimiento	25971	7.422	3,5
Pacífico	Comuna de Collipulli	22354	6.616	3,4

Fuente: Elaboración Propia. INE

#### 14.5. Evaluación económica de los beneficios

Para realizar la evaluación económica de los beneficios se consideraron las dos metodologías de cuantificación presentadas en la sección 14.2 y 14,3, dentro de las cuales se consideraron 2 estudios como referencia para cada metodología, un estudio internacional y otro local. Esta evaluación económica se realiza para un periodo de 20 años considerando una tasa de descuento del 6 %.

Los supuestos para la evaluación económica son los siguientes:

- Para el caso de la estimación de los beneficios en función de la metodología “Disposición a pagar” se considera la proyección de la población presentada por el INE y la estimación de la población afectada.
- Cuando se considera la evaluación a partir de la metodología de precios hedónicos se utilizan los datos de la población estimada a partir del INE en base al censo del 2002 y las proyecciones de población. También es importante mencionar que la valoración de los impactos sobre la vivienda se realiza una sola vez como se visualiza en la evaluación económica y los demás flujos se relacionan a las nuevas viviendas construidas debido al crecimiento de la población año a año.
- Se considera que el flujo de dinero relacionado a los beneficios se inician desde el año 4, ya que en estos años comienzan las medidas, propiamente tal relacionadas a la reducción de gases TRS, ya que las demás medidas se considera principalmente de gestión orientadas a la medición y planes de regulación de emisiones para evitar excesos.
- Para realizar los cálculos la valoración de los beneficios se actualizaron a moneda del 2008 en función del IPC.

A continuación en la se presentan los resultados de la evaluación económica considerando las 2 metodologías en la Tabla 14-5 (el detalle se presenta en el anexo 21.16)

**Tabla 14-5: Evaluación económica de los beneficios de la norma.**

Método de cuantificación	Fuente de estudio utilizada	Beneficios	
		VAN MMUS\$	VAE MMUS\$/año
Disposición a pagar de los residentes por disminuir los malos olores.	Basado Campos et al 2001	113,6-117,8	9,9-10,3
	Basado Batalhone et al 2002	87,84-227,49	7,7-19,8
Método de precios hedónicos. Impacto del olor-precio vivienda	Basado Mardones et al 2006	58,1-317,8	5,1-27,7
	Basado Kontogianni et al 2001	192,9-413,43	16,8-36,0

Fuentes: Elaboración Propia, 2009.

Es necesario mencionar que estas evaluaciones económicas están realizadas en base a estudios tanto locales como internacionales y que si bien entregan resultados aceptables, son solo estimaciones que permiten visualizar el orden de magnitud de los beneficios. También hay que establecer que estas estimaciones están realizadas en base a otras realidades en cuanto a población, cultura y olores provenientes de otro tipo de industrias

(planta de tratamiento e industria pesquera), por lo que esta cuantificación y valoración de beneficios debe considerar todo estos factores.

Otro aspecto importante que se destaca de las dos evaluaciones, a partir de las dos metodologías, es la diferencia que se presenta al utilizar los valores internaciones y nacionales, lo cual se debe a las diferentes realidades económicas con otro países, sin embargo los valores se encuentran en un orden de magnitud similar.

## 15. EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO CONSIDERANDO LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS PARA ESTIMAR LOS BENEFICIOS.

En esta sección se detalla la evaluación económica considerando los beneficios y costos de la modificación de la norma de gases TRS. Los 4 escenarios considerados para realizar esta evaluación son los siguientes:

- **Escenario 1:** Para este caso se evalúa económicamente la norma considerando los beneficios relacionados a la disposición a pagar de los habitantes por la reducción de los malos olores basado en el estudio de Campos, 2001. Para el desarrollo se esta evaluación se considera la media del rango dado de los beneficios y los costos relacionados a la modificación de la norma.
- **Escenario 2:** En este caso se evalúa económicamente la norma considerando los beneficios relacionados a la disposición a pagar de los habitantes por la reducción de los malos olores basado en el estudio de Batalhone, 2002. Para el desarrollo se esta evaluación se considera la media del rango dado de los beneficios y los costos relacionados a la modificación de la norma.
- **Escenario 3:** En este escenario se evalúan los beneficios asociados a la revaloración de las viviendas (precios hedónicos), basados en el estudio de Mardones, 2006. Para el desarrollo se esta evaluación se considera la media del rango dado de los beneficios y los costos relacionados a la modificación de la norma.
- **Escenario 4:** El escenario 4 considera la evaluación de todos los costos y los beneficios obtenidos en base al estudio de Kontogianni, 2001. (Se considera la media de los rangos de los beneficios).

**Tabla 15-1: Evaluación Económica considerando los costos y beneficios calculados**

Escenario	VAN MMUS\$	VAE MMUS\$/año
E1-Costos-Beneficios en base a Campos, 2001 (disposición a pagar valor medio)	34,45	3,0
E2- Costos-Beneficios en base a Batalhone, 2002 (disposición a pagar valor medio)	74,02	6,5

E3- Costos-Beneficios en base a Mardones, 2006. (precios hedónicos valor medio)	102,57	<b>8,9</b>
E4- Costos-Beneficios en base a Kontogianni, 2001. (precios hedónicos valor medio)	211,32	<b>18,4</b>

Fuentes: Elaboración Propia, 2009.

Como se observa de la Tabla 15-1, al incluir el análisis Costo-beneficio en la evaluación económica se tiene un rango de VAE de 3 a 6,5 MMUS\$/año considerando la disponibilidad a apagar y un VAE de 8,9-18,4 al incluir los beneficios relacionados al valor de las viviendas. De lo anterior se aprecia claramente que existe un rango de beneficios ya sea evaluando la disposición a pagar o la revaloración de los precios de las viviendas.

## 16. IMPACTOS DIRECTOS DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS PARA MODIFICAR LA NORMA.

Al realizar la revisión y proponer modificaciones y una revisión exhaustiva de la norma se observan distintos Impactos. En función de lo anterior en esta sección se comentan y explican los Impactos asociados a cada escenario propuesto.

### 16.1. Impacto por remodelación e implementación de tecnología de abatimiento.

Los impactos asociados a este tipo medidas se cuantifican en función de los escenarios evaluados los cuales son los siguientes:

- Recolectar los gases diluidos,
- La eliminación como fuente fija del estanque disolvedor.

En estas tres medidas se observa un factor en común el cual es la inversión en tecnología para controlar las emisiones de gases TRS, siendo este el beneficio principal de las modificaciones propuestas, pudiendo cuantificarse el efecto, en función de la disminución estimada por cada escenario. En la Tabla 16-1 se muestran las reducciones efectivas al aplicar las medidas.

**Tabla 16-1: Reducción de emisiones por medidas propuestas**

Medida	Reducción Ton TRS/año	% que representa del escenario general <sup>a</sup> .	Costo efectividad de la medida (US\$/ton de TRS reducida) <sup>b</sup> .
Recolectaran los gases diluidos	1084,75	48,57%	5486
La eliminación del estanque disolvedor como fuente fija	34,08	1,53%	49251

Fuente: Elaboración Propia, 2009.<sup>a</sup>Estos porcentajes de reducción están en relación a los 2233 ton TRS (ver Tabla 6-7).<sup>b</sup>Este valor se obtuvo a partir de los costos de anuales obtenidos en la sección de la evaluación económica.

El impacto directo de la implementación de estas modificaciones se asocia entonces a una disminución en las emisiones de gases TRS, lo que conlleva a su vez beneficios que recaen en la población y comunidades aledañas y cercanas a las plantas como se especifica en la sección anterior.

## **16.2. Impacto por medidas de gestión**

Los impactos que se obtienen al implementar este tipo de modificaciones se relacionan a las siguientes medidas:

- Establecer límites diarios de emisión para el horno de cal y la caldera recuperadora.
- El normar nuevas fuentes que operan de manera continua, como lo son la caldera de poder y el incinerador en algunos casos.
- Medidas de control, gestión e instrumentación relacionadas al horno de cal, lo cual se relaciona a la disminución en el límite de emisión del horno de cal de 20 a 15 ppmv.
- Aumento de frecuencia de mediciones discretas en estanque disolvedor.
- Monitoreo de planta de tratamiento efluentes en gases TRS.
- Confección de un mapa de emisiones, Inventarió de gases TRS.

### **16.2.1. Impacto de establecer límites horarios.**

Mediante esta medida se lograría controlar las emisiones diarias lo que conlleva medidas de control y gestión por parte de las plantas, para evitar excesos de emisiones y eventos importantes durante el día. Es decir, implícitamente se están disminuyendo la magnitud de las emisiones y por ende de los malos olores al aumentar el control sobre las fuentes emisoras.

### **16.2.2. Impacto de normar nuevas fuentes que operan de manera continua**

Esta medida entrega como impactos directo conocer las emisiones de fuentes que no están normadas y así establecer su impacto sobre el escenario general de las emisiones de gases TRS. Esta medida implica el monitoreo continuo de las emisiones de gases TRS lo cual se puede hacer de manera directa o mediante el monitoreo de la temperatura en el caso de los incineradores.

### **16.2.3. Impacto al aumentar la frecuencia de mediciones discretas en estanque disolvedor**

Mediante esta medida se obtiene información mucho más consistente en relación a la operación del estanque disolvedor, ya que hasta el momento sólo se exige la medición de las emisiones 1 vez al año. En función de lo anterior aumentar la frecuencia del monitoreo de esta unidad normada, por lo menos 4 veces al año entrega mayor control y por ende podría traducirse en una disminución de las emisiones de gases TRS de esta unidad.

### **16.2.4. Impacto al bajar el límite de emisión del horno de cal**

Bajar el límite de emisión del horno de cal, se traduce en el aumento del control de esta unidad por parte de las plantas, lo que implica una disminución de las emisiones de esta fuente fija y una mejor operatividad de ésta.

### **16.2.5. Impacto al Monitoreo de planta de tratamiento efluentes en gases TRS**

Esto implica la cuantificación de las emisiones de los gases TRS que emiten las plantas de tratamiento lo que entrega como resultado directo establecer su impacto sobre el escenario general de las emisiones de gases TRS.

### **16.2.6. Impacto al Confección de un mapa de emisiones, inventario de gases TRS**

En general el proceso de la celulosa Kraft es estándar, sin embargo existen diferentes formas de llevar a cabo el proceso y distintas tecnologías debido a los diferentes años de instalación de las plantas. Considerando lo anterior es necesario establecer las emisiones concretas de las plantas mediante mediciones y estimaciones. El beneficio principal de esta medida es establecer un conocimiento acabado de todas las fuentes de emisión ya sean fijas o difusas con lo que se genera una fuente de información técnica de gran importancia para todos los actores involucrados con la norma.

## **16.3. Resumen de resultado directos de las medidas propuestas**

En la tabla a continuación se presentan los beneficios directos de implementar las modificaciones propuestas.



**Tabla 16-2: Medidas propuestas en la revisión y modificación del D.S Nº 167.**

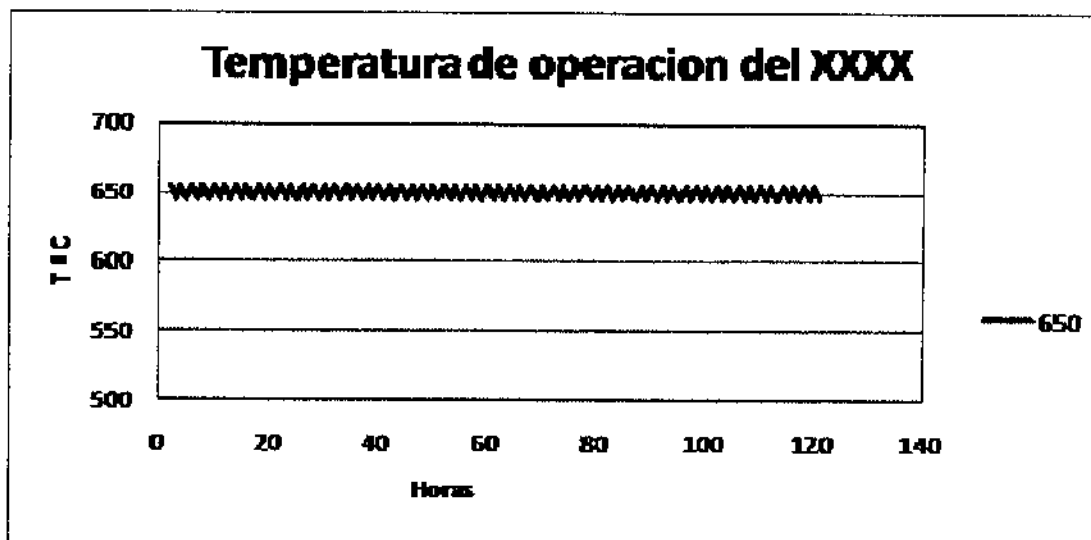
Medida	Resultado.
Implementación de límites mensuales	Establecer un límite mensual, mas restrictivo a la norma ya existente, con el fin de asegurar que las emisiones no superen niveles excesivos al día. Medidas aplicadas para el horno de cal y la caldera recuperadora.
Medidas de control gestión y instrumentación relacionadas al horno de cal.	Presión sobre las empresas para que controlen sus procesos relacionados al horno de cal y no estén al límite con el cumplimiento de la norma (Valores en el percentil 98), ya que las empresas tienen la capacidad de emitir menos TRS, lo cual se refleja en la notificación de las emisiones promedios anuales, valores que bordean o son menores a las 8 ppmv en todas las plantas. Costo máximo de la medida es de 222.894 US\$/Año
Eliminación del Estanque disolventador como fuente fija.	Reducción de las emisiones de gases TRS en el escenario global de 34,08 ton TRS/año, lo que representa un 1,51 % del escenario general de las emisiones totales. El costo de la medida en función de la reducción de gases TRS es de 49251 US\$/año por ton TRS reducida.
Implementación de un sistema recolector de gases diluidos.	Reducción de las emisiones de gases TRS en el escenario global de 1084,75 ton TRS/año, lo que representa un 48,57 % del escenario general de las emisiones totales. El costo de la medida en función de la reducción de gases TRS es de 5.486 US\$/año por ton TRS reducida).
Monitoreos en fuentes fijas no normadas.	Entrega información importante de fuentes que no son normadas y que podrían estar emitiendo, importantes cantidades de TRS.
Aumento de frecuencia de mediciones discretas en estanque disolventador.	Entrega información una mejor resolución temporal de la variación de las emisiones de gases TRS de este equipo.
Monitoreo de planta de tratamiento efluentes en gases TRS	Entrega una noción de las emisiones de gases TRS, puntuales de esta unidad de proceso, para así abordar de manera más eficiente el problema y tomar medidas de gestión y operación.
Confección de un mapa de emisiones, Inventarió de gases TRS.	Esta medida entregaría información vital relacionada a la identificación de fuentes fugitivas de las plantas, junto con confirmar el estado de cumplimiento y verificar en terreno el funcionamiento efectivo de los sistemas de recolectores de gases existentes.

**Fuente:** Elaboración Propia, 2009.\*No se considerara la medida de conversión de C.R planta Laja, ya que esta sólo se presenta a modo de visualización y solo se considera como revisión y no como modificación.

## 17. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PLANTEADAS

En base a los escenarios evaluados se plantean las alternativas seleccionadas como propuestas para el anteproyecto.

- **Caldera recuperadora:** Mantener el límite de emisión de 5 ppmv (percentil 98) pero evaluarlo de manera mensual. Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 6 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma. Esta medida apunta a distribuir las emisiones de los gases TRS de la caldera recuperadora en todos los meses del año lo que desencadena un mayor control sobre las empresas y se podría traducir en una disminución de emisiones de los gases TRS (ver anexo 15.13). En el caso de plantas nuevas deben asimilar el límite de emisión de manera inmediata
- **Horno de Cal:** Reducir el límite de emisión del horno de cal de 20 a 15 ppmv asociada a un percentil 98 evaluada a nivel mensual. Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 24 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma, ya que se podría necesitar la implementación de tecnología de instrumentación y control. Esta medida apunta a distribuir las emisiones de los gases TRS del Horno de cal en todos los meses del año lo que desencadena un mayor control sobre las empresas y se podría traducir en una disminución de emisiones de los gases TRS (ver anexo 15.13).  
En el caso de plantas nuevas deben asimilar el límite de emisión de 8 ppmv de manera inmediata.
- **Incineración y caldera de poder:** En caso de que el incinerador y la caldera de poder sean utilizados de manera permanente para la combustión de los gases TRS, serán considerados como fuentes fijas que deben ser monitoreadas continuamente. En base a lo anterior el límite de emisión será 10 ppmv, el cual se considerará sobrepasado cuando el Percentil 98 de los valores promedios de 24 horas registrados durante un periodo anual con un sistema de medición continua, sea mayor a lo indicado.  
El límite de emisión se basa en la experiencia local, específicamente en planta Arauco, el cual posee un sistema de medición para su incinerador dedicado. El límite comprometido de planta Arauco con la autoridad es de 20 ppmv (similar a horno de cal), sin embargo por especificaciones técnicas del incinerador, este puede llegar a 10-7 ppmv.  
Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 12 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma.  
En el caso de plantas nuevas deben asimilar la medida de manera inmediata.  
En el caso de no ocupar estos equipos de manera continúa detallar su uso, informando tiempo de uso y temperatura de funcionamiento como se muestra en la figura a continuación.



**Figura 17-1: Ejemplo de entrega de información de la temperatura de operación del equipo de respaldo de combustión de los gases TRS.**

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

- **Estanque Disolvedor:** Para el caso de las plantas ya establecidas eliminar el estanque disolvedor como fuente de emisión, recolectando sus gases y dirigiéndolos a una unidad de combustión. Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 48 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma.  
Para el caso de las plantas nuevas deben incluir este tipo de tecnologías cuando se implementen estos proyectos.
- **Aumento de frecuencias de mediciones en el estanque disolvedor:** Mientras no sean captados los gases del estanque disolvedor, aumentar las mediciones a una mensual, medida implementada de manera inmediata después de presentado el documento de modificación de la norma.
- **Implementación de un sistema recolector de gases diluidos:** Recolectar los gases no condensables diluidos del área de lavado y clasificación de la celulosa, del área de digestores (los gases diluidos de esta área), del área de estanques de evaporadores y área de caustificación. Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 60 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma.  
Para el caso de las plantas nuevas deben incluir este tipo de tecnologías cuando se implementen estos proyectos.

- **Inventario de emisiones:** Todas las empresas deben informar cada 1 año, sus emisiones controladas y no controladas de gases TRS, ya sean fijas o difusas, especificando si son estimaciones o mediciones directas a los equipos. La información debe ser entregada en el formato que se presenta en la:

**Tabla 17-1: Ejemplo del formato de la información requerida para el inventario de emisiones.**

Equipo	Fijas/difusa	Kg TRS/año	Kg TRS/ ADT	Estimación/medición
Caldera recuperadora		xxxx	xxxx	
Estanque 1 de área de caustificación.		xxxx	xxxx	
Área de lavado de la pulpa.		xxxx	xxxx	
Planta de tratamiento de riles		xxxx	xxxx	

Fuente: Elaboración propia, 2009

Para la implementación de esta medida se recomienda un plazo de 48 meses desde la presentación del documento de modificación de la norma.

- **Sistema de monitoreo continuo:** Aceptar el sistema de monitoreo continuo que se está utilizando en la actualidad. En base a lo anterior considerando que los equipos de monitoreos están certificados por la EPA, se hace necesario la fiscalización en relación a los gases patrones que se utilizan, los cuales deben ser certificados.

## 18. ANÁLISIS COMPLEMENTARIO DE INMISIÓN DE GASES TRS

En la actual legislación Chilena no contempla normas de calidad de aire para los gases de sulfuro reducido (TRS), en particular ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), siendo que estos gases TRS son compuestos químicos caracterizados por un persistente y fuerte mal olor.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que para evitar considerables molestias por malos olores en una población expuesta a estos gases, la concentración de  $H_2S$  en el aire no debería exceder los 5 ppb ( $7 \mu g m^{-3}$ ) en un periodo de 30-minutos.

La percepción de la intensidad de los olores depende de la duración y niveles de la exposición. Estudios realizados para determinar la relación de disconformidad y molestias de estos gases y las concentraciones mínimas de detección establecen que en promedio los niveles mínimos de detección de  $H_2S$  es  $8 \pm 2$  ppb y que los niveles de molestias se generan cuando las concentraciones de estos gases exceden cinco veces (5 X) los niveles mínimos de detección (Amoore, 1985; Winneke and Kastka, 1977; Hellman and Small, 1974). Actualmente la norma de calidad de aire de California, EE.UU. (CAAQS) establecida en el año 1968 y revisada a principio de los 80's establece un límite máximo de 30 ppb ( $42 \mu g m^{-3}$ ) para la concentración de  $H_2S$  en un promedio de 1 hora. Este valor límite fue establecido mediante un panel sensorial compuesto por 16 adultos saludables (California

State Department of Public health, 1967) quienes fueron entrenados para percibir la intensidad de estos olores.

En la Tabla 18-1 se presenta una ficha que predice los niveles de detección y molestias en una población que se expone a un ambiente que contenga H<sub>2</sub>S en el aire. Estos valores fueron adaptados de un estudio realizado por Amoore (1985) y fueron presentados en una propuesta técnica realizada para modificar el actual estándar de inmisión de H<sub>2</sub>S en California como una medida de protección de la salud de los niños.

**Tabla 18-1: Predicciones de los niveles de detección y molestias en una población expuesta a concentraciones de H<sub>2</sub>S.**

H <sub>2</sub> S (ppb)	% capaz de detectar olor <sup>a</sup>	Intensidad del olor percibido <sup>b</sup> (radio)	% molestos por olor <sup>c</sup>
200	99	2.31	88
100	96	1.93	75
50	91	1.61	56
40	88	1.52	50
35	87	1.47	47
30	83	1.41	40
25	80	1.34	37
20	74	1.27	31
15	69	1.18	22
10	56	1.06	17
8	50	1.00	11
6	42	0.93	8
4	30	0.83	5
2	14	0.70	2
1	6	0.58	1
0.5	2	0.49	0

**Fuente:** Amoore (1985). <sup>a</sup>Basándose en la capacidad promedio de detección de 8±2 ppb. <sup>b</sup>Concentración de H<sub>2</sub>S dividida por el nivel de detección. <sup>c</sup>Basándose en el supuesto de que el nivel de molestias se genera cuando se percibe una concentración 5 veces el valor de detección.

En el marco de determinar los niveles de inmisión de gases TRS en localidades afectadas por los malos olores emitidos por las plantas que producen pulpa de celulosa sulfatada, algunas comunidades de la VIII Región cuentan con estaciones de monitoreo que incluyen instrumentación que mide la concentración ambiental de gases TRS reportados como H<sub>2</sub>S. En este estudio se tuvo acceso a través de profesionales de la CONAMA VIII Región a algunas mediciones de gases TRS realizadas en las estaciones de monitoreo localizadas en las comunidades cercanas a las plantas de celulosa. Las estaciones de monitoreo de las cuales se obtuvieron los datos son las que se muestran en la Tabla 18-2 .

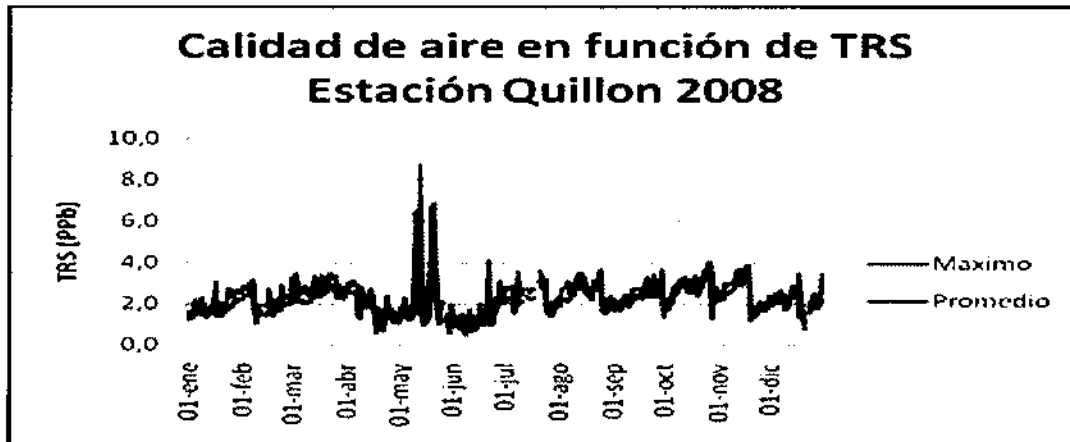
**Tabla 18-2: Estaciones de monitoreo de gases TRS.**

Estación	Comuna	Planta cercana	Información obtenida
Nueva aldea	Ranquil	Nueva Aldea	Datos de 2008 monitoreo calidad de aire gases TRS
Quillón	Quillón	Nueva Aldea	Datos de 2008 monitoreo calidad de aire gases TRS
Laja 1	Laja	Laja	Datos de 2008-2007 monitoreo calidad de aire gases TRS
Club de empleados	Nacimiento	Santa Fe	Datos de 2008 monitoreo calidad de aire gases TRS

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

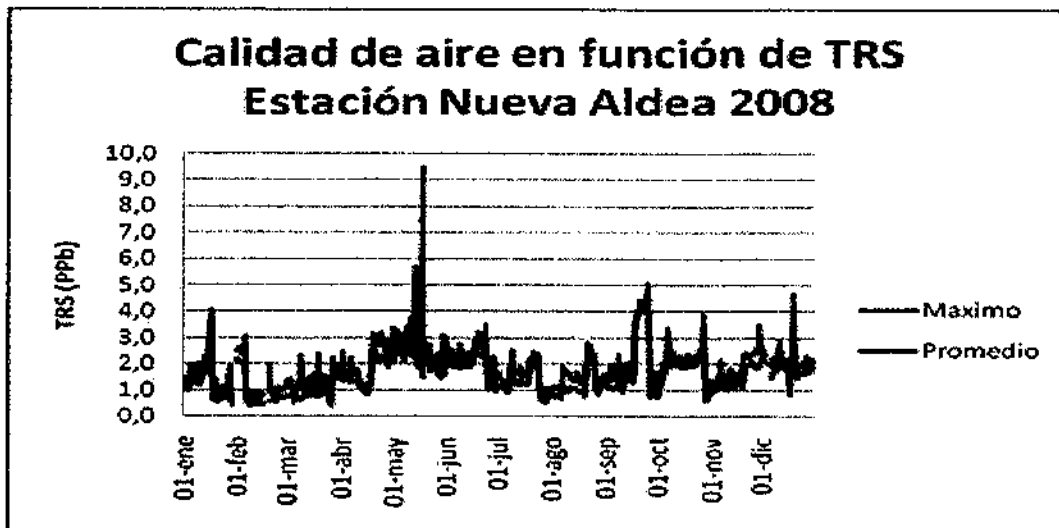
### 18.1. Datos de estaciones cercanas a planta Nueva Aldea

Los datos obtenidos del monitoreo se presentan en las siguientes figuras las cuales muestran el comportamiento anual de calidad de aire con respecto a los gases TRS en las cercanías de la planta nueva aldea.



**Figura 18-1: Monitoreo de gases TRS estación Quillón.**

Fuente: Datos facilitados por CONAMA



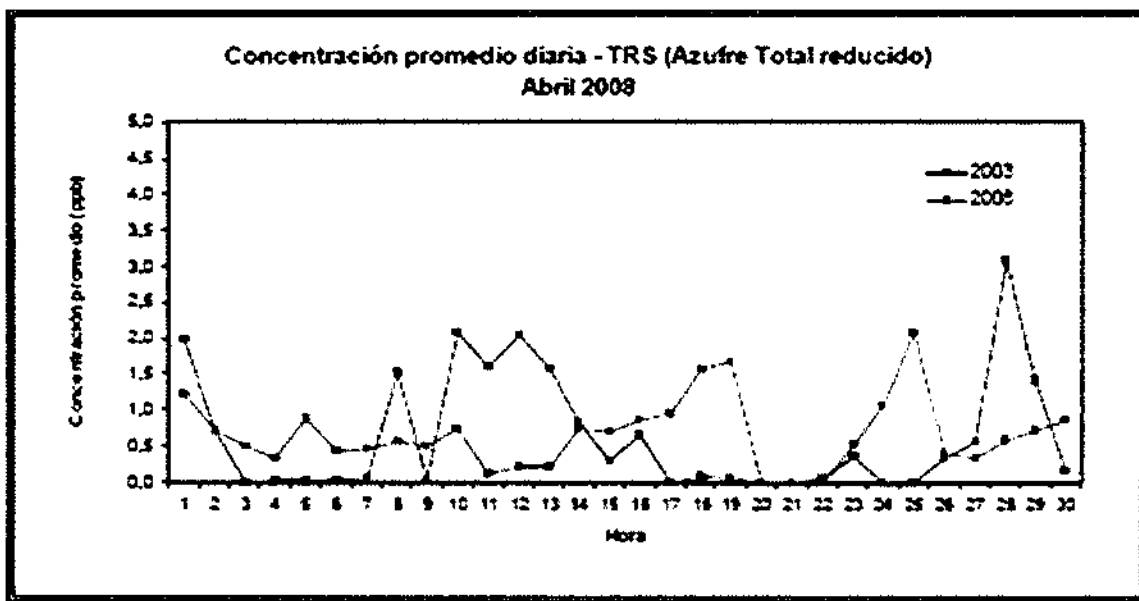
**Figura 18-2: Monitoreo de gases TRS estación Quillón.**

Fuente: Datos facilitados por CONAMA

Del la Figura 18-1 y Figura 18-2 se puede observar claramente que el promedio de las concentraciones de gases TRS bordea las 3 a 2 ppb lo que se traduce según la Tabla 18-1 en que de 100 personas aproximadamente 20 detectan el olor de las cuales entre 5 y 2 lo encuentran molesto. Ahora bien si analizamos los valores más altos detectado que bordean las 9 ppb ahora el 53 % de las personas detectan el olor y el 14 % lo encuentra molesto.

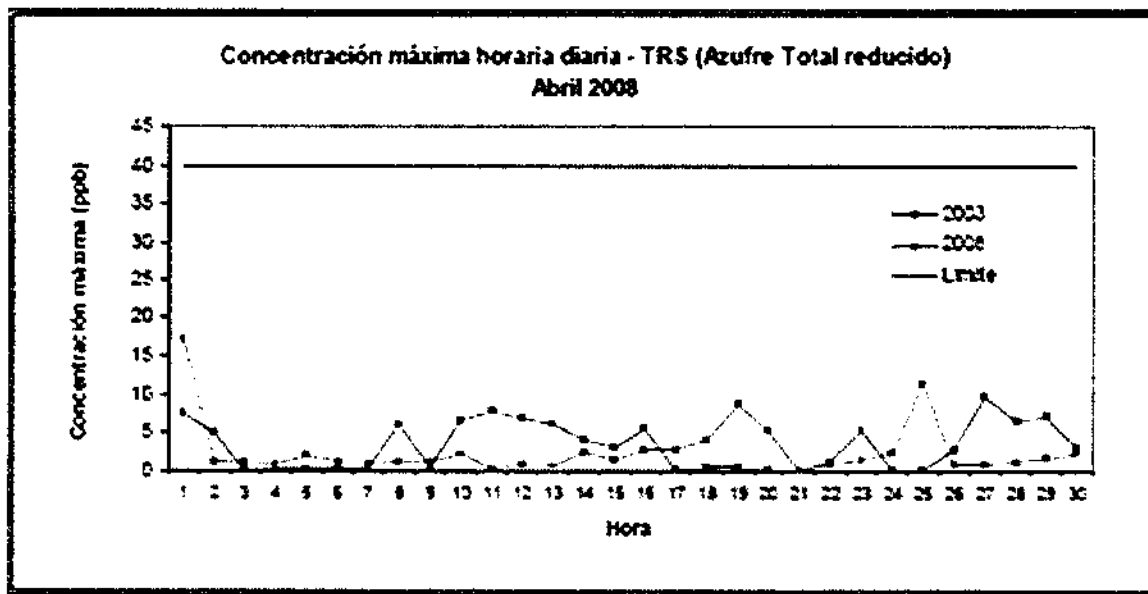
## 18.2. Datos de estaciones cercanas a planta Santa Fe.

Los datos de monitoreo recolectados de la estación Club de Empleados ubicada en Nacimiento muestran un comportamiento similar todos los meses, por lo cual se muestran a continuación dos gráficos los cuales son representativos de todo el año.



**Figura 18-3: Monitoreo de gases TRS (Promedio diario) estación Club de empleados, Nacimiento.**

Fuente: Datos facilitados por CONAMA



**Figura 18-4: Monitoreo de gases TRS (máximo diario) estación Club de empleados, Nacimiento.**

Fuente: Datos facilitados por CONAMA.

Como se observa de la Figura 18-3 el promedio diario de las concentración de gases TRS en el aire bordea 1 ppb lo que se traduce según la Tabla 18-1 en que de 100 personas aproximadamente 6 detectan el olor de las cuales 1 lo encuentran molesto. Ahora bien si analizamos la Figura 18-4 los valores máximos detectados en el mismo periodo bordean

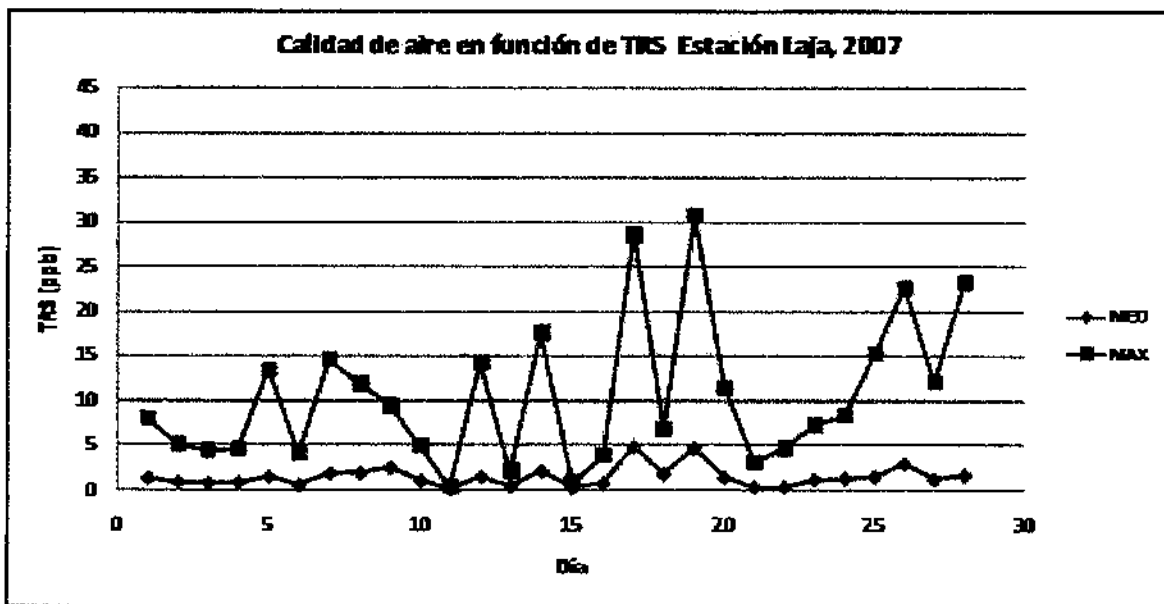




las 10 ppb que representan que el 56 % de las personas detectan el olor y el 17 % lo encuentran molesto.

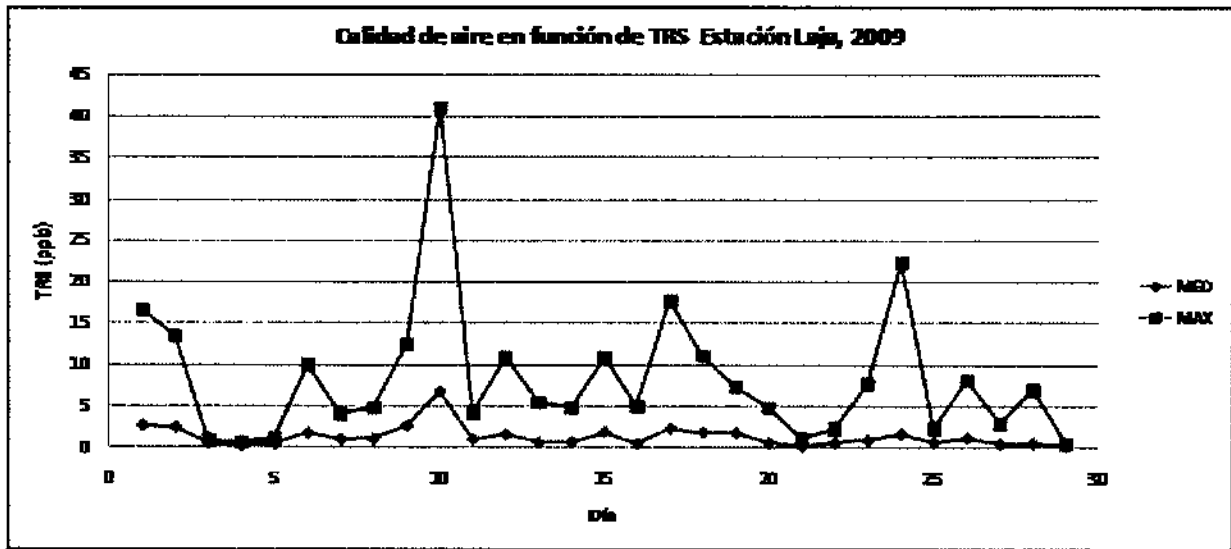
### 18.3. Datos de estaciones cercanas a planta Laja

En base a los datos de la estación Laja se observan los comportamientos del mes de febrero durante el 2007, 2008 y 2009. En base a esta información se puede analizar claramente cuál es la influencia que tiene la línea 1 de planta Laja sobre la calidad del aire, ya que durante el periodo 2009 esta ha estado parada. En base a lo anterior a continuación se presentan 3 gráficos.

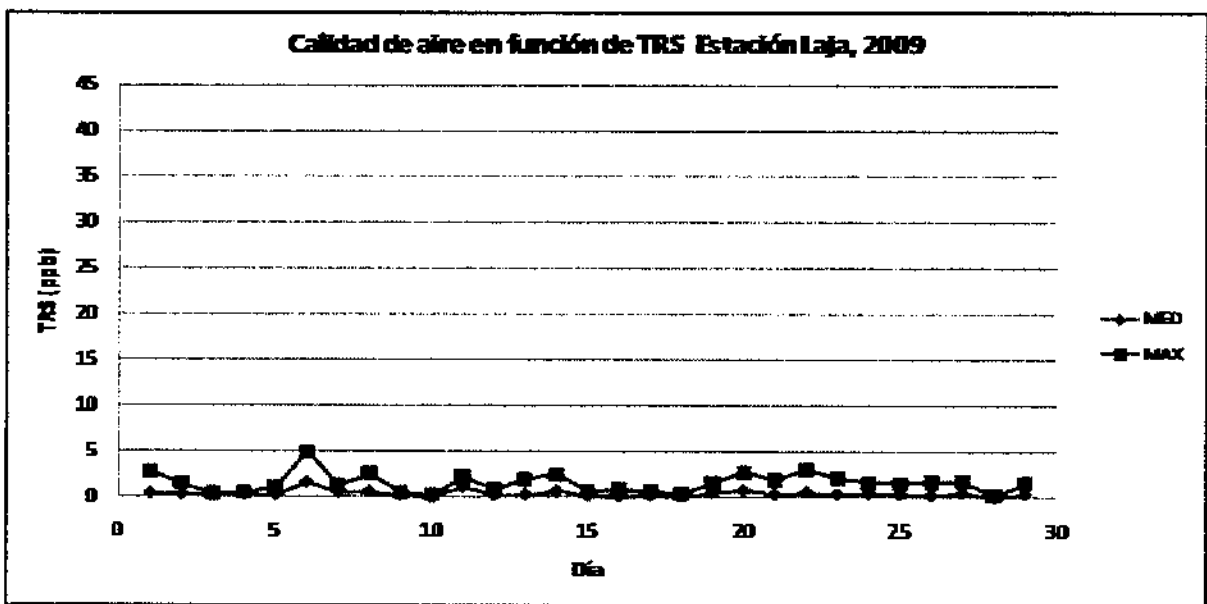


**Figura 18-5: Monitoreo de gases TRS estación Laja, Febrero 2007, Laja.**

Fuente: Datos facilitados por CONAMA.



**Figura 18-6: Monitoreo de gases TRS estación Laja, Febrero 2008, Laja.**  
Fuente: Datos facilitados por CONAMA.



**Figura 18-7: Monitoreo de gases TRS estación Laja, Febrero 2009, Laja.**  
Fuente: Datos facilitados por CONAMA.

De la Figura 18-5 y Figura 18-6 se observa claramente que la calidad del aire se ve afectada con valores máximos que bordean en promedio las 25 ppb de concentración de gas TRS, que según la Tabla 18-1, representa que un 80 % de las personas detectan el olor y un 37 % siente molestias. Por otro lado lo interesante de este análisis se ve reflejado en la Figura 18-7 donde se muestra que las concentraciones en el aire del gas TRS, bajan considerablemente durante el 2009 lo cual se debe a que no se encuentra en funcionamiento la línea 1 de planta Laja. La disminución de la concentración de los gases

TRS en la atmosfera resulta ser alrededor de un 85 %, lo cual se debe principalmente a que en la línea 1 de la planta laja se encuentra la caldera recuperadora la cual emite con una concentración promedio de 200 ppmv siendo que el límite es 5 ppmv.

## 19. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- Considerando todos los resultados obtenidos se establecen que las principales modificaciones en relación de la norma se asocian a la reducción de emisiones mediante la recolección de los gases diluidos y los que provienen del estanque disolvedor, medidas que representa el mayor nivel de inversión relacionado a la modificación de la norma.
- Por otro lado, se establecen nuevos periodos de evaluación de los límites de emisión considerando un cumplimiento mensual en vez del anual existente, lo que se traduce en un mayor control de las fuentes emisoras.
- Del punto de vista de los sistemas de medición se propone la aceptación del sistema CEMS reconocido por la EPA para así establecer un sistema de monitoreo netamente continuo y se propone aumentar el la frecuencia de las mediciones del estanque disolvedor a una mensual.
- El mayor costo de la norma recae en la recolección de los gases diluidos el cual representa alrededor del 70 % del costo anual equivalente global, lo cual se debe al alto costo de inversión y operación del sistema y también a que la mayoría de las plantas en Chile son antiguas y aún no han implementado esta tecnología.
- Finalmente se reporta que la modificación de la norma reporta beneficios, los cuales están en un rango de 3- 18,4 MMUS\$/año.

## 20. BIBLIOGRAFIA.

- Alberta Environment, 2008. Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill. Alberta.
- Amec, 2004. Independent advice on the development of environmental guidelines for any new bleached eucalypt kraft pulp mill in Tasmania. Emission limit comparison for selected jurisdictions, Tasmania, Apendice G.
- AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 10: Wood Products Industry 10.2. Chemical Wood Pulping.
- Batalhone, Nogueira y Mueller, 2002. Economics of Air Pollution: Hedonic Price Model and Smell Consequences of Sewage Treatment Plants in Urban Areas.
- Bordado and Gomes, 2003. Emission and odour control in Kraft pulp mills. Journal of Cleaner Production. V. 11, pag 797-801.
- Campos, Vazquez y Cerda 2001. Estimaciones Paramétricas, Semiparamétricas y no Paramétricas en Valoración Contingente : Aplicación a un problema de Calidad de Aire.
- Catalin Florin Petre, 2007. Alkaline oxidation of hydrosulfide and methyl mercaptide by iron/cerium oxide-hydroxide in presence of dissolved oxygen. Possible application for removal of Total Reduced Sulfur (TRS) emissions in the Pulp & Paper industry, Universidad de Laval Canada.
- Chien Chi Victor Liang, 2008. Reduced Sulphur Compounds in ambient air and in emissions from wastewater clarifiers at a kraft pulp mill. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University Of Toronto.
- Code of Federal Regulations, Title 40: PROTECTION OF ENVIRONMENT, Volume 6, Revised as of July 1, 2009, From the U.S. Government Printing Office via GPO Access CITE: 40CFR60.283].
- Consultants of the National Cleaner Production Center - CNTL SENAI, 2006. Fase 2 del reporte de la auditoria a Celulosa Arauco y Constitución, Planta Valdivia, Chile.
- D.S. No. 167 de 1999, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. (D.O. 01.04.2000) Establece norma de emisión para olores molestos (compuestos sulfuro de hidrogeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de pulpa sulfatada.



## 21. ANEXOS

### 21.1. Normativa internacional o extractos.

#### 21.1.1. Extractos de legislación brasileña (resolução nº 054/06-sema)

##### XVII. Forno de cal (industria de celulose)

**Artigo 47** - Para as emissões geradas em fornos de cal em indústrias de celulose ficam estabelecidos os seguintes padrões:

Condição referencial para Oxigênio: 8%

- a) Material Particulado Total: 177 mg/Nm<sup>3</sup>
- b) CO: 1.200 mg/Nm<sup>3</sup>
- c) TRS: 30 mg/Nm<sup>3</sup>, expresso como SO<sub>2</sub>

Parágrafo Único – Não se aplica para esta atividade o artigo 21 desta Resolução.

##### XVIII. Caldeira de recuperação (industria de celulose)

**Artigo 48** - Para as emissões geradas em caldeiras de recuperação em indústrias de celulose ficam estabelecidos os seguintes padrões:

Condição referencial para Oxigênio: 8%

- a) Material Particulado Total: 150 mg/Nm<sup>3</sup> para caldeiras com capacidade de processamento acima de 400 t/d s.s. (toneladas dia como sólido seco) e, 240 mg/Nm<sup>3</sup> para as demais caldeiras
- b) CO: 2.000 mg/Nm<sup>3</sup>
- c) TRS: 15 mg/Nm<sup>3</sup>, expresso como SO<sub>2</sub>, para caldeiras com capacidade de processamento acima de 400 t/d s.s. (toneladas dia como sólido seco) e, 30 mg/Nm<sup>3</sup>, expresso como SO<sub>2</sub>, para as demais caldeiras
- d) SO<sub>x</sub>: 250 mg/Nm<sup>3</sup>

Parágrafo Único – Não se aplica para esta atividade o artigo 21 desta Resolução.

**XIX. Tanque de dissolução (industria de celulose)**

**Artigo 49** - Para as emissões geradas em tanques de dissolução em indústrias de celulose ficam estabelecidos os seguintes padrões:

- a) Material Particulado Total: 500 mg/Nm<sup>3</sup>
- b) TRS: 80 mg/Nm<sup>3</sup>, expresso como SO<sub>2</sub>

**21.1.2. Extractos de legislación mexicana (Norma Oficial Mexicana NOM-105-Sermanat-1996)**

**TABLA I**

**NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE QUÍMICOS DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN DE CELULOSA AL SULFATO (KRAFT).**

PROCESO Y PERÍODO DE CUMPLIMIENTO	PLANTAS EXISTENTES				PLANTAS NUEVAS	
	PARTÍCULAS mg/m <sup>3</sup> (2)		ART como H <sub>2</sub> S mg/m <sup>3</sup> (2)		PARTÍCULAS mg/m <sup>3</sup> (2)	ART como H <sub>2</sub> S mg/m <sup>3</sup> (2)
	NIVELES					
	I	II	I	II		
HORNO DE RECUPERACIÓN (1)	500	350	279	70	150	56
HORNO DE CAL	600	420	223	70	180	56
PERÍODO DE CUMPLIMIENTO	5 AÑOS A PARTIR DE LA ENTRADA EN VIGOR DE LA NORMA	A PARTIR DEL 6o. AÑO DE VIGENCIA DE LA NORMA	5 AÑOS A PARTIR DE LA ENTRADA EN VIGOR DE LA NORMA	A PARTIR DEL 6o. AÑO DE VIGENCIA DE LA NORMA	A PARTIR DE LA VIGENCIA DE LA NORMA	

Notas: 1) El horno de recuperación incluye, si se tiene, el evaporador de contacto directo.  
 2) Los valores de emisiones expresados en mg/m<sup>3</sup> se deben calcular en base seca y en condiciones normalizadas, corregidas al 8% (ocho por ciento) de oxígeno en volumen para el horno de recuperación y 10% (diez por ciento) de oxígeno en volumen para el horno de cal.

**TABLA 3**  
**ESPECIFICACIONES PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE EMISIONES DE CONTAMINANTES**  
**A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE QUÍMICOS**  
**DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN DE CELULOSA AL SULFATO Y A LA SÓSA.**

EQUIPO O PROCESO	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE MEDICIÓN
HORNO DE RECUPERACIÓN Y HORNO DE CAL	PST	UNA VEZ POR AÑO	ISOCINETICO, 2 MUESTRAS DEFINITIVAS
	ART	UNA VEZ POR AÑO	MONITOREO CONTINUO, METODOS 15, O 16A O 16B DE LA EPA O EQUIVALENTE
	O <sub>2</sub>	UNA VEZ POR AÑO	MONITOREO CONTINUO, CAMPO MAGNETICO O EQUIVALENTE



### 21.1.3. Extractos de legislación de Estados Unidos.

#### Environmental Protection Agency

§ 60.284

matter in excess of 0.1 g/kg black liquor solids (dry weight)[0.3 lb/ton black liquor solids (dry weight)].

(3) From any lime kiln any gases which contain particulate matter in excess of:

(i) 0.15 g/dscm (0.066 gr/dscf) corrected to 10 percent oxygen, when gaseous fossil fuel is burned.

(ii) 0.30 g/dscm (0.13 gr/dscf) corrected to 10 percent oxygen, when liquid fossil fuel is burned.

[43 FR 7572, Feb. 23, 1978, as amended at 66 FR 61758, Oct. 17, 2000]

#### §60.283 Standard for total reduced sulfur (TRS).

(a) On and after the date on which the performance test required to be conducted by §60.8 is completed, no owner or operator subject to the provisions of this subpart shall cause to be discharged into the atmosphere:

(1) From any digester system, brown stock washer system, multiple-effect evaporator system, or condensate stripper system any gases which contain TRS in excess of 5 ppm by volume on a dry basis, corrected to 10 percent oxygen, unless the following conditions are met:

(i) The gases are combusted in a lime kiln subject to the provisions of paragraph (a)(5) of this section; or

(ii) The gases are combusted in a recovery furnace subject to the provisions of paragraphs (a)(2) or (a)(3) of this section; or

(iii) The gases are combusted with other waste gases in an incinerator or other device, or combusted in a lime kiln or recovery furnace not subject to the provisions of this subpart, and are subjected to a minimum temperature of 650 °C (1200 °F) for at least 0.5 second; or

(iv) It has been demonstrated to the Administrator's satisfaction by the owner or operator that incinerating the exhaust gases from a new, modified, or reconstructed brown stock washer system is technologically or economically unfeasible. Any exempt system will become subject to the provisions of this subpart if the facility is changed so that the gases can be incinerated.

(v) The gases from the digester system, brown stock washer system, or

condensate stripper system are controlled by a means other than combustion. In this case, this system shall not discharge any gases to the atmosphere which contain TRS in excess of 5 ppm by volume on a dry basis, uncorrected for oxygen content.

(vi) The uncontrolled exhaust gases from a new, modified, or reconstructed digester system contain TRS less than 0.005 g/kg air dried pulp (ADP) (0.01 lb/ton ADP).

(2) From any straight kraft recovery furnace any gases which contain TRS in excess of 5 ppm by volume on a dry basis, corrected to 8 percent oxygen.

(3) From any cross recovery furnace any gases which contain TRS in excess of 25 ppm by volume on a dry basis, corrected to 8 percent oxygen.

(4) From any smelt dissolving tank any gases which contain TRS in excess of 0.016 g/kg black liquor solids as H<sub>2</sub>S (0.033 lb/ton black liquor solids as H<sub>2</sub>S).

(5) From any lime kiln any gases which contain TRS in excess of 8 ppm by volume on a dry basis, corrected to 10 percent oxygen.

[43 FR 7572, Feb. 23, 1978, as amended at 50 FR 6317, Feb. 14, 1985; 51 FR 18544, May 20, 1986; 63 FR 61758, Oct. 17, 2000]

#### §60.284 Monitoring of emissions and operations.

(a) Any owner or operator subject to the provisions of this subpart shall install, calibrate, maintain, and operate the following continuous monitoring systems:

(1) A continuous monitoring system to monitor and record the opacity of the gases discharged into the atmosphere from any recovery furnace. The span of this system shall be set at 70 percent opacity.

(2) Continuous monitoring systems to monitor and record the concentration of TRS emissions on a dry basis and the percent of oxygen by volume on a dry basis in the gases discharged into the atmosphere from any lime kiln, recovery furnace, digester system, brown stock washer system, multiple-effect evaporator system, or condensate stripper system, except where the provisions of §60.283(a)(1)(iii) or (iv) apply. These systems shall be located downstream of the control device(s) and the



### 21.1.4. Extracto de límite de emisión de otros países (Development of new environmental emission limit guidelines for any new bleached eucalypt kraft pulp mill in Tasmania).

Emission point	Pollutant	Units	European Union	Austria	France	Germany	Sweden <sup>(PM)</sup>	Finland <sup>(PM)</sup>	USA	Canada	QC, Canada	BC, Canada
Final effluent	TSS	kg/ADt	0.6-1.5	2.5	5	No limit - part of COD			3.9	8.5	3	N/A
	BOD <sub>5</sub>	kg/ADt	0.3-1.5	2	2	30 mg/L			2.4	4.5	2.5	N/A
	COD	kg/ADt	8-23	20	25	25			No regs	No regs	No regs	No regs
	AOX	kg/ADt	0.25	0.25	1	0.25			0.27	0.48	0.25	0.3
Recovery boiler	Acute toxicity (LC <sub>50</sub> /EC <sub>50</sub> )	%										
	2,3,7,8-TCDD	pg/L	10							10	15	15
	2,3,7,8-TCDF	pg/L	31.9				60-100			31.9	15	50
	PM	mg/Ndm <sup>3</sup>		34-56				60	51		151	74
Lime kiln	TRS	mg H <sub>2</sub> S/Ndm <sup>3</sup>		17-26				12				
	NO <sub>x</sub>	mg NO <sub>x</sub> /Ndm <sup>3</sup>		90-136								
	SO <sub>2</sub>	mg SO <sub>2</sub> /Ndm <sup>3</sup>		11-56								
	PCDD/PCDF	pg I-TEQ/Ndm <sup>3</sup>	100	100	100	100		120	150	80		
Power boiler	PM	mg/Ndm <sup>3</sup>		34-56				24				
	TRS	mg H <sub>2</sub> S/Ndm <sup>3</sup>		26-30					34		227	140
	NO <sub>x</sub>	mg NO <sub>x</sub> /Ndm <sup>3</sup>		113-226							23	21
	SO <sub>2</sub>	mg SO <sub>2</sub> /Ndm <sup>3</sup>		5-34								
All sources excluded power boiler	PCDD/PCDF	pg I-TEQ/Ndm <sup>3</sup>	100	100	100	100			150	80		
	NO <sub>x</sub>	mg NO <sub>x</sub> /Ndm <sup>3</sup>	12-26									
	PM	mg/Ndm <sup>3</sup>	200-270									
	PCDD/PCDF	pg I-TEQ/Ndm <sup>3</sup>	100	100	100	100						
All sources excluded power boiler	Sulfur	kg S/ADt					0.4		150	80		
	NO <sub>x</sub>	kg NO <sub>x</sub> /ADt					1.3					
All sources	Inorganic chlorinated compounds (excluded HCl)	mg Cl <sub>2</sub> /Ndm <sup>3</sup>					1.5	33				

Notes:  
 a) PM, TRS, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> in the table are corrected to 3% oxygen level by volume for recovery boiler and lime kiln. The correction is to 8% oxygen level by volume for the power boiler.  
 b) Sweden has no specified % O<sub>2</sub> reference level in the limits (with the exception of CO<sub>2</sub> for the bark boiler). The reference level for normal operation is about 2-3% O<sub>2</sub>. There are no national or provincial guidelines for air emissions from kraft pulp mills. Limits are set by the Environmental Court (Miljödomstolen) on an individual basis for each mill. Concentration limits for specified emission points are only given for particulate matter (PM). There are, however, H<sub>2</sub>S concentration limits for the recovery boiler and the lime kiln that must not be exceeded for a given percentage of the operating time. Millwide limits for sulfur and NO<sub>x</sub> emissions are given in kg/ADt.  
 c) In Finland, the O<sub>2</sub> reference level for recovery boiler, lime kiln and power boiler is usually 6%. There are no national or provincial guidelines for air emissions from kraft pulp mills. Limits are set by the Agency for Environmental Permits (Miljöövervakningsverket) on an individual basis for each mill. Concentration limits for specified emission points are only given for particulate matter (PM). There are, however, H<sub>2</sub>S concentration limits for the recovery boiler and the lime kiln that must not be exceeded for a given percentage of the operating time. Millwide limits for sulfur and NO<sub>x</sub> emissions are given in kg/ADt.  
 d) NO<sub>x</sub> are included in millwide NO<sub>x</sub> from all sources excluding power boiler.  
 e) TRS and SO<sub>2</sub> are included in millwide sulfur from all sources excluding power boiler.

## 21.2. Métodos EPA utilizados para la medición de TRS.

Los métodos más utilizados para medir TRS, según normativa internacional son el método EPA 16, 16-A, 16-B y 15, siendo éste último usado principalmente para la industria de la refinaria. Por otro lado, los métodos 16 se han aplicado con buenos resultados para la industria de la celulosa para medir los las emisiones de gases TRS del Horno de Cal, Caldera Recuperadora y Estanque disolvedor.

A continuación se comparan los método 16, 16-B y 16-A en la Tabla 21-1.

**Tabla 21-1: Métodos de EPA utilizados para medir gases TRS**

	<b>Método 16</b>	<b>Método 16 A</b>	<b>Método 16 B</b>
<b>Nombre del método</b>	SEMICONTINUOUS DETERMINATION OF SULFUR EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES	DETERMINATION OF TOTAL REDUCED SULFUR EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES (IMPINGER TECHNIQUE)	DETERMINATION OF TOTAL REDUCED SULFUR EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES
<b>Aplicabilidad</b>	Este método es aplicable para la determinación de compuestos TRS (azufre reducido total) desde calderas de recuperación, hornos de cal y estanques disolvedores de plantas de pulpa de celulosa kraft y sistemas de combustión de gases en refinarias de petróleo.	Este método es aplicable para la determinación de compuestos TRS (azufre reducido total) desde calderas de recuperación, hornos de cal y estanques disolvedores de plantas de pulpa de celulosa kraft.  Compuestos reducidos de azufre; sulfuro de carbonilo, disulfuro de carbono, de unidades de recuperación de azufre en plantas de procesamiento de gas natural u otras fuentes que sean especificadas en las regulaciones.	Este método es aplicable para la determinación de compuestos TRS (azufre reducido total) desde calderas de recuperación, hornos de cal y estanques disolvedores de plantas de pulpa de celulosa kraft.  También puede ser utilizado en otras fuentes que sean especificadas en las regulaciones.
<b>Gases medidos</b>	Dimetil disulfídrico $[(CH_3)_2S_2]$ , Dimetil sulfídrico, $[(CH_3)_2S]$ , Acido sulfhídrico $[H_2S]$ , Metil mercaptano $[CH_4S]$	Azufre Total reducido (TRS), Incluyendo: Dimetil disulfídrico $[(CH_3)_2S_2]$ , Dimetil sulfídrico, $[(CH_3)_2S]$ , Acido sulfhídrico $[H_2S]$ , Metil mercaptano $[CH_4S]$ , Sulfuro de carbonilo $[COS]$ , Disulfuro de	Azufre Total reducido (TRS), Incluyendo: Dimetil disulfídrico $[(CH_3)_2S_2]$ , Dimetil sulfídrico, $[(CH_3)_2S]$ , Acido sulfhídrico $[H_2S]$ , Metil mercaptano $[CH_4S]$ , Reportado como:

		carbono [CS <sub>2</sub> ]  Reportado como: Dióxido de azufre [SO <sub>2</sub> ]	Dióxido de azufre [SO <sub>2</sub> ]
<b>Sensitividad del método</b>	50 ppb	0.1 ppm SO <sub>2</sub> cuando se muestrea a 2 litros/min por 3 horas, o bien, 0.3 ppm cuando se muestrea a 2 litros/min por 1 hora.	ND
<b>Resumen del método</b>	Una muestra de gas es tomada desde la fuente de emisión y un extracto de la muestra es analizada por Acido sulfhídrico, metil mercaptano, dimetil sulfrídrico, dimetil disulfrídrico. Estos cuatro compuestos son conocidos colectivamente como gases TRS. Luego se analizan por separado mediante cromatografía gaseosa (GC) acoplado a un detector fotométrico de llama (FPD).	Una muestra de gases integrada es tomada desde la Chimenea o fuente. El dióxido de azufre [SO <sub>2</sub> ] es removido selectivamente desde la muestra utilizando a solución buffer de citrato. Los compuestos TRS presentes en la muestra son oxidados termalmente a SO <sub>2</sub> y recolectados en peróxido de hidrógeno como sulfato. Posteriormente se analiza por el método EPA 6 de titulación con bariotorina.  Los gases deben contener por lo menos un 1 % de oxígeno para permitir la completa oxidación de los TRS a SO <sub>2</sub>	Una muestra de gases integrada es tomada desde la Chimenea o fuente. El dióxido de azufre [SO <sub>2</sub> ] es removido selectivamente desde la muestra utilizando a solución buffer de citrato. Los compuestos TRS presentes en la muestra son oxidados termalmente a SO <sub>2</sub> y analizados como SO <sub>2</sub> mediante cromatografía gaseosa (GC) acoplado a un detector fotométrico de llama (FPD).  Los gases deben contener por lo menos un 1 % de oxígeno para permitir la completa oxidación de los TRS a SO <sub>2</sub>
<b>Principio de cuantificación de los gases TRS</b>	Separación de los TRS mediante cromatografía gaseosa (GC) y cuantificación mediante detector fotométrico de llama (FPD).	Cuantificados como SO <sub>2</sub> y recolectados en peróxido de hidrógeno como sulfato y cuantificado mediante el método EPA 6 de titulación con bariotorina.	Cuantificados como SO <sub>2</sub> mediante cromatografía gaseosa (GC) acoplado a un detector fotométrico de llama (FPD).
<b>Interferencias del método</b>	<u>Humedad</u> proveniente de la condensación en el sistema de tren de muestreo, la columna analítica o el quemador del detector fotométrico de llama. Esto se previene manteniendo el tren de muestreo a 120 °C.	La presencia de otros compuestos de azufre reducido, entre ellos el <u>sulfuro de carbonilo</u> , <u>disulfuro de carbono</u> también son contabilizados por este método. Por lo tanto estos compuestos se	La presencia de otros compuestos de azufre reducido, entre ellos el <u>sulfuro de carbonilo</u> , <u>disulfuro de carbono</u> también son contabilizados por este método. Por lo tanto estos compuestos se

	<p>El <u>monóxido de carbono</u> [CO] y <u>dióxido de carbono</u> [CO<sub>2</sub>] tiene un efecto de pérdida de sensibilidad en el detector fotométrico de llama. Por ello se recomienda que los niveles de CO<sub>2</sub> sean del orden de un 10% cuando este presente. Esto se puede lograr mediante una dilución de la muestra.</p> <p>El <u>materi al particulado</u> presente en la muestra del gas puede causar una interferencia debido a un eventual bloqueo del sistema analítico de muestreo. Este problema puede ser evitado utilizando filtros de teflón en la lanza de muestreo para remover las partículas de la muestra de gases.</p> <p>El <u>dióxido de azufre</u> no es considerado una interferencia específica del método, pero si esta presente en grandes concentraciones podría afectar la capacidad de separación del gas cromatógrafo. Para evitar esto se puede utilizar un removedor selectivo de SO<sub>2</sub>, similar al utilizado en el método 16A y 16B.</p>	<p>consideran como una interferencia si sólo se quiere medir los TRS, ácido sulfhídrico, metil mercaptano dimetil sulfídrico, y dimetil disulfídrico.</p> <p>El <u>materi al particulado</u> presente en la muestra del gas puede causar una interferencia en el scrubber de citrato utilizado para remover SO<sub>2</sub>, generando un cambio en el pH lo que puede generar una absorción de H<sub>2</sub>S. Este problema puede ser evitado utilizando filtros de teflón en la lanza de muestreo para remover las partículas de la muestra de gases.</p>	<p>consideran como una interferencia si sólo se quiere medir los TRS, ácido sulfhídrico, metil mercaptano dimetil sulfídrico, y dimetil disulfídrico.</p> <p>El <u>materi al particulado</u> presente en la muestra del gas puede causar una interferencia en el scrubber de citrato utilizado para remover SO<sub>2</sub>, generando un cambio en el pH lo que puede generar una absorción de H<sub>2</sub>S. Este problema puede ser evitado utilizando filtros de teflón en la lanza de muestreo para remover las partículas de la muestra de gases.</p> <p>El <u>monóxido de carbono</u> [CO] y <u>dióxido de carbono</u> [CO<sub>2</sub>] tiene un efecto de pérdida de sensibilidad en el detector fotométrico de llama. Por ello se recomienda que los niveles de CO<sub>2</sub> sean del orden de un 10% cuando este presente. Esto se puede lograr mediante una dilución de la muestra.</p>
<b>Determinación de la concentración de TRS</b>	<p>La concentración de los compuestos TRS se calcula de la concentración promedio de cada uno de los compuestos analizados (ácido sulfhídrico, metil mercaptano, dimetil sulfídrico, dimetil disulfídrico)</p>	<p>La concentración de los compuestos TRS se determina mediante la cuantificación del SO<sub>2</sub> generado de la oxidación termal de los TRS. El SO<sub>2</sub> es recolectados en peróxido de hidrógeno como sulfato, y</p>	<p>La concentración de los compuestos TRS se determina mediante la cuantificación del SO<sub>2</sub> generado de la oxidación termal de los TRS. El SO<sub>2</sub> se cuantifica mediante cromatografía gaseosa (GC) acoplado a un</p>

	Luego, la concentración total de TRS se determina mediante la suma lineal de la concentración de 4 compuestos.	cuantificado mediante titulación con bario-torina utilizando el método EPA 6. La concentración de compuestos TRS es proporcional a la cantidad de SO <sub>2</sub> determinada por el método de titulación.	detector fotométrico de llama (FPD). La concentración de compuestos TRS es proporcional a la cantidad de SO <sub>2</sub> cuantificada mediante GC-FPD.
--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia, 2009

### 21.3. Relación del SEIA con las emisiones de gases

#### 21.3.1. Proyecto EIA "Modernización de Planta Laja 2008"

- Objetivo y actividades

Con el objeto que este nuevo proyecto represente un mejoramiento ambiental respecto de la operación actual de Planta Laja, su diseño considera los siguientes criterios:

- ✓ Reprocesamiento de rechazos de la cocción.
- ✓ Recirculación de aguas de proceso y lavador de gases en la planta de blanqueo.
- ✓ Segregación, lavado y reutilización de condensados.
- ✓ Sistema de recuperación del metanol contenido en el licor.
- ✓ Sistemas de control de la combustión en caldera recuperadora y horno de cal.
- ✓ Precipitadores electrostáticos de alta eficiencia para calderas y horno.
- ✓ Disminución del nivel de humedad del licor en evaporadores, lo que mejora la combustión en la caldera recuperadora, reduciendo sus emisiones.
- ✓ Capacidad suficiente en evaporadores para manejar licor adicional debido a la recolección de derrames.
- ✓ Extensión del sistema de abatimiento de gases no condensables, en particular recolectando e incinerando tanto los gases concentrados como los diluidos, con doble sistema de respaldo, operativo de forma permanente.
- ✓ Incineración en la caldera recuperadora de los gases de salida del estanque disolvedor.
- ✓ Cierre de circuitos de aguas limpias de enfriamiento, mediante su recolección y reutilización.
- ✓ Sistema de monitoreo, contención y recuperación eficiente de derrames.
- ✓ Extensión del tratamiento secundario de efluentes.

- Duración y ejecución del proyecto

La etapa de construcción del proyecto tendrá una duración estimada de 45 meses, contados a partir de la obtención de la RCA y los permisos sectoriales pertinentes.

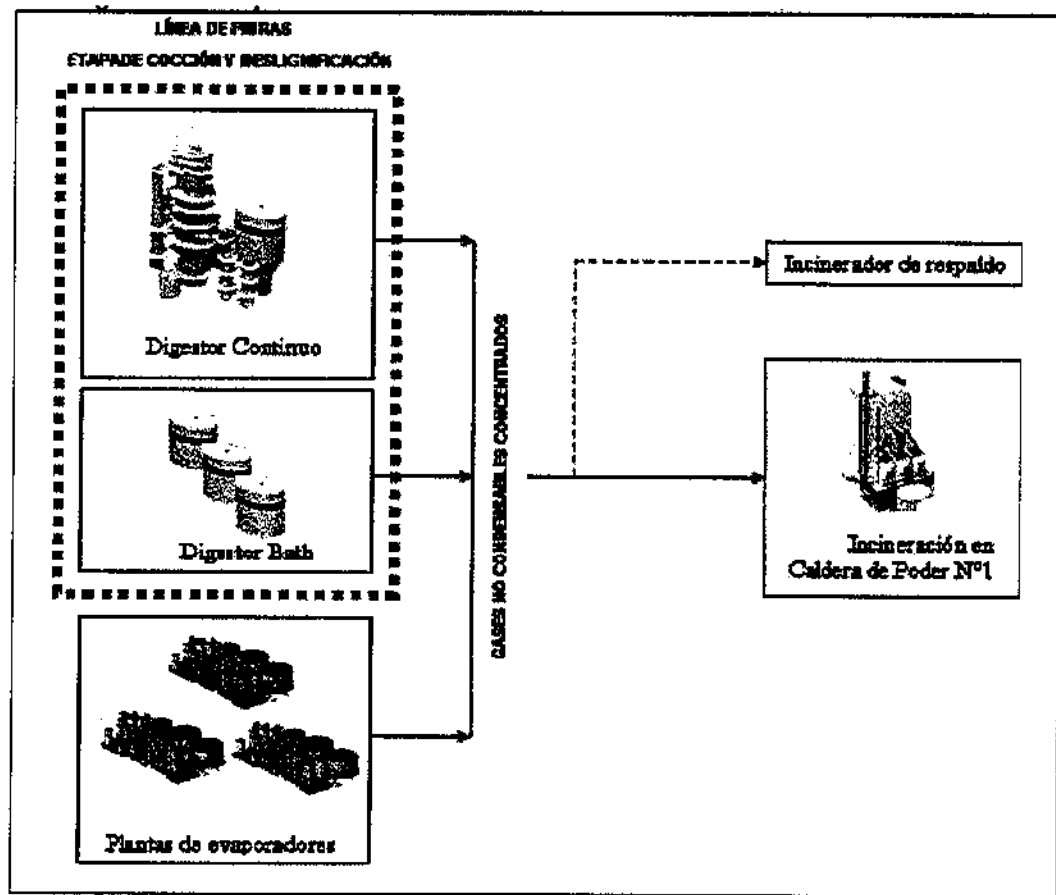
- Información extraída.

Del EIA se obtiene principalmente información acerca de escenario actual y futuro al implementar el proyecto.

**Tabla 21-2: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS proyecto EIA "Modernización de Planta Laja 2008".**

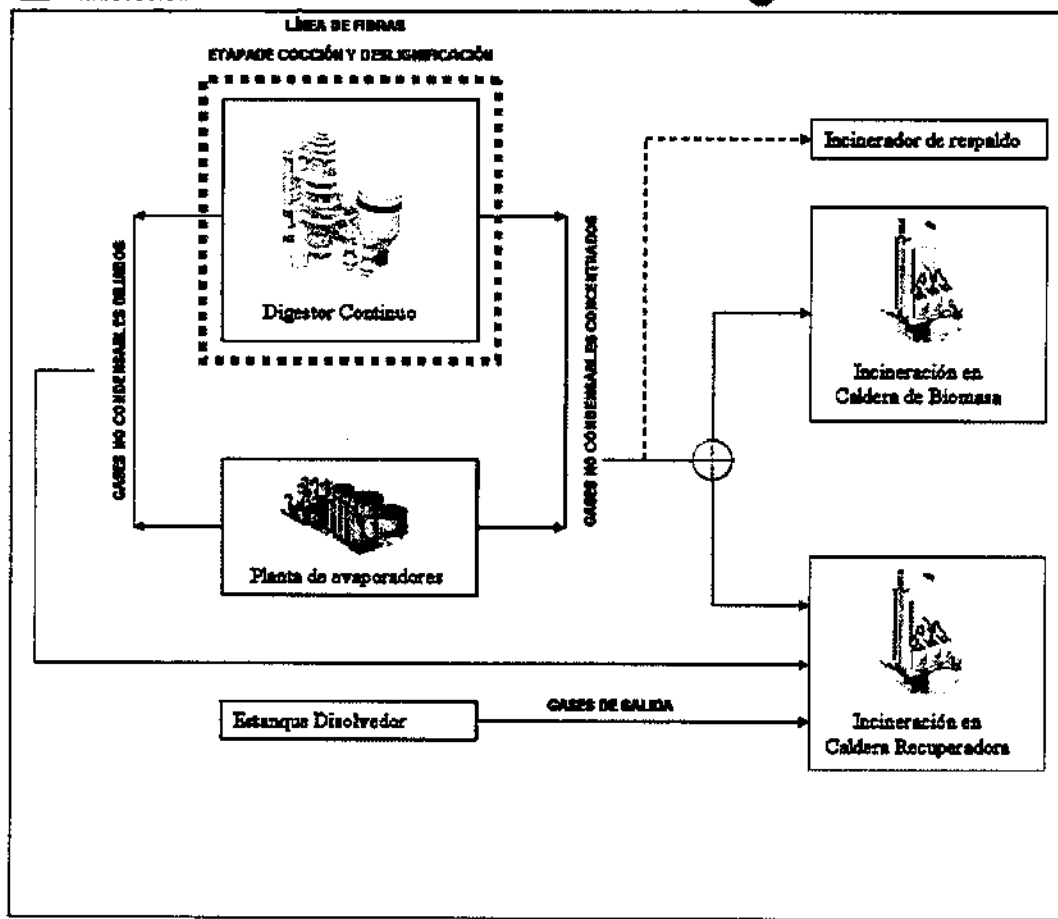
Situación sin proyecto	-Emisiones actuales de trs por fuentes fugitivas en la planta es de 1 ton/día, principalmente en las áreas de cocción, plantas de evaporadores y caustificación. -Sistema de abatimiento de gases no condensables concentrados, que incluye la recolección desde seis fuentes, lavador y enfriador de gases y un incinerador de respaldo.
Situación con proyecto	-Emisiones futuras de trs por fuentes fugitivas se reducirán a 0,15 ton/día. -Extensión del sistema de abatimiento de gases no condensables, en particular recolectando e incinerando tanto los gases concentrados como los diluidos, con doble sistema de respaldo, operativo de forma permanente -Incineración en la caldera recuperadora de los gases de salida del estanque disolvedor.
Información relacionada con los gases trs	-El nuevo proyecto considera construir una nueva caldera recuperadora de baja emisión de olor. -La caldera recuperadora n° 4, así como ambas calderas de poder, se dejarán fuera de servicio.

Fuente: Elaboración propia, 2009



**Figura 21-1: Sistema actual de recolección de gases.**

Fuente: EIA "Modernización de Planta Laja 2008"



**Figura 21-2: Sistema recolector de gases con proyecto.**

Fuente: EIA "Modernización de Planta Laja 2008"

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

Según el estudio de impacto ambiental se observa que existe un proceso la remodelación y modernización global de la planta más antigua de celulosa en el país. Esta remodelación engloba procesos de mitigación ambiental los cuales están ligados en su mayoría a la disminución de olores y por ende dar cumplimiento al decreto supremo 167/99, que tiene plazo hasta el 2012 para su implementación. En función de lo anterior se concluye que la Planta Laja ha iniciado el proceso de mejorar sus tecnologías para dar cumplimiento el decreto supremo 167/99 e incluso están haciendo mayores esfuerzos en relación a la recolección de gases diluidos.

### 21.3.2. DIA "Optimización Operacional de Planta Pacífico, Mininco" 2005.

- Objetivo y actividades

✓ El Proyecto denominado "Optimización Operacional de Planta Pacífico, Mininco" consiste en efectuar mejoras a la gestión operacional y de mantenimiento de equipos en la Planta de



modo de alcanzar el potencial de producción anual estimado en 520.000 toneladas. No se contemplan inversiones ni modificaciones a las instalaciones existentes.

- ✓ Este Proyecto sólo considera realizar actividades de optimización operativa y de mantenimiento de equipos.
- ✓ Este Proyecto no considera instalaciones nuevas.

- Duración y ejecución del proyecto

No se especifica en la declaración de impacto ambiental

- Información extraída.

En el proyecto mencionado principalmente se compara las emisiones de TRS para el periodo 2005.

**Tabla 21-3: Emisiones TRS planta celulosa Pacífico**

Fuente	Percentil 98 (Julio 04-Mayo 05)	DS 167/00
Caldera Recuperadora	3,2 ppmv	5 ppmv
Horno de Cal	17,0 ppmv	20 ppmv
Estanque disolvedor	16,6 mg/kg ss	16,8 mg/kg ss
% Incineración	98 %	98%

Fuente: Declaración de impacto ambiental "Optimización Operacional de Planta Pacífico, Mininco" 2005.

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

Según la declaración de impacto ambiental se reconoce esfuerzos en gestión operacional y de mantenimiento, sin embargo estos no hacen relación con una influencia positiva en la emisión de gases TRS, por lo que queda claro que este documento solo se utilizó para verificar el estado de las emisiones en el año 2005.

### 21.3.3. EIA "Obras nuevas y actualizaciones del complejo forestal industrial Itata", 2004.

- Objetivo y actividades

El objetivo de este EIA es ingresar al sistema las obras nuevas que se señalan y las actualizaciones que también se indican de los cambios en el diseño y construcción del Complejo Forestal Industrial ("CFI") constituido por las mismas instalaciones del proyecto que fue aprobado mediante Resolución Exenta N° 9/2001 de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Este proyecto ha sido actualizado tecnológicamente, lo que se ha traducido entre otros, en el reemplazo de una sola línea de fibra por dos líneas de fibra, en el aumento de producción de celulosa (56%), y en el aumento de procesamiento de rollizos en la Planta de Trozado (74%), sin incrementos de consideración respecto a los efectos sobre el medio ambiente, según se demuestra en el EIA

- Duración y ejecución del proyecto

Para efectos de su desarrollo, el proyecto se ha dividido en dos fases; a saber Fase 1 y Fase 2, las que se describen a continuación:

**Fase 1:**

- ✓ Una Planta de Trozado con capacidad para procesar anualmente 2.087.000 m<sup>3</sup> de rollizos con corteza, con una capacidad inicial de 1.086.930 m<sup>3</sup>/año, para alcanzar su máxima capacidad durante el año 2008.
- ✓ Un Aserradero con capacidad para producir anualmente 452.700 m<sup>3</sup> de madera aserrada, con una capacidad inicial de 201.200 (m<sup>3</sup>/año), para alcanzar su máxima capacidad durante el año 2007.
- ✓ Una Planta Térmica, compuesta por una caldera de poder con una capacidad de generación de vapor de 210 ton/h, un turbogenerador de 29 MW de capacidad y los servicios auxiliares necesarios.
- ✓ Los movimientos de tierra asociados a la plataforma donde se emplazará la Planta de Celulosa.

**Fase 2:**

- ✓ Esta fase contempla la construcción de una Planta de Celulosa blanca con una capacidad de producción promedio de 856.000 ton/año, y una Planta de Remanufacturas.

- Información extraída.

Del EIA se obtiene principalmente información acerca de escenario con y sin el proyecto.

**Tabla 21-4: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS**

Situación sin proyecto	-Emisiones de gases trs del orden de 0,64 ton/día
Situación con proyecto	- Emisiones de gases trs del orden de 0,50 ton/día, de las cuales 0,28 son fuentes fugitivas.
Información relacionada con los gases trs	-Se consta con un sistema recolector de gases no condensables concentrados y diluidos (trs). -En la caldera recuperadora serán incinerados los gases trs recolectados en la planta, gases diluidos y gases concentrados, separadamente. dentro del hogar, los gases de combustión alcanzarán temperaturas superiores a los 1.000 °c. -En particular, los gases concentrados de las áreas de fibra y evaporadores serán recolectados mediante ductos y dirigidos a la caldera de recuperación donde serán quemados en un quemador dedicado. -La planta contará también con un incinerador de gases trs como respaldo ante eventuales problemas operacionales en la caldera recuperadora, de modo de asegurar una incineración de los gases concentrados en forma permanente.

Fuente: Elaboración propia, 2009.

**Tabla 21-5: Concentraciones máximas diarias trs en distintas localidades operación normal**

Punto	Máximo Diario Ppb
Nueva Aldea	27,2
Nipas	2,9
Quillón	0,0

Fuente: EIA "Obras nuevas y actualizaciones del complejo forestal industrial Itata", 2004.

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

Se concluye que planta Nueva Aldea ha realizado un esfuerzo importante en el control de gases TRS, implementando tecnología que asegura el cumplimiento del D.S 167 y también considerando el abatimiento de los gases diluidos.

#### 21.3.4. DIA "Proyecto de Optimización Planta Laja - PROFAL IV ", 2003.

- Objetivo y actividades

Los objetivos del proyecto que se somete al SEIA a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) son, por una parte, dar cumplimiento a los parámetros del Decreto Supremo N° 90/01 del MINSEGPRES y al Acuerdo de Producción Limpia, suscrito en Concepción en el año 1999 por diversos productores de celulosa, entre ellos planta Laja, el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción y la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Por otra parte, se modernizarán las instalaciones productivas actualmente existentes de la planta Laja, para aprovechar al máximo la capacidad instalada de los equipos principales, sin detener la operación de la planta.

Los objetivos planteados deben cumplirse junto a las siguientes consideraciones:

- ✓ Las concentraciones del efluente deben disminuir.
- ✓ Las emisiones al aire para PM10 y TRS deben disminuir, y para todos los parámetros deben cumplir las normas de calidad.
- ✓ La calidad de la celulosa debe mantenerse y de ser posible, mejorarse.
- ✓ Los tiempos de detención por mantención anual deben ser menores a los actuales.

- Duración y ejecución del proyecto

- ✓ Etapa de construcción (incluye movimiento de tierras, obras civiles, montajes y prueba) de febrero del 2004 abril del 2007
- ✓ Puesta en servicio Mayo del 2007.

- Información extraída.

Principalmente se compara las emisiones de TRS estimadas para el periodo 2003-2007 con el proyecto y sin el proyecto.

**Tabla 21-6: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS**

Situación sin proyecto	-Emisiones de gases trs del orden de 3,13 ton/día, incluye fuentes fijas y difusas.
Situación con proyecto	-Emisiones de gases trs del orden de 0,55 ton/día, incluye fuentes fijas y difusas.

Fuente: Elaboración propia, 2009

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

Se concluye que planta Laja ha estado desde el año 2003 realizando esfuerzos para el control, de sus emisiones de gases TRS para así dar cumplimiento con lo establecido en el D.S 167/99.

**21.3.5. EIA "Proyecto Ampliación Planta Santa Fe" 2003.**

- Objetivo y actividades

Los objetivos del proyecto son aumentar la capacidad de producción de Santa Fe, introducir mejoras ambientales y utilizar la masa forestal disponible. Esto asegurará que la planta Santa Fe se mantenga como uno de los líderes mundiales de la industria de fabricación de celulosa de eucalipto. Este objetivo se logrará teniendo en consideración las siguientes características: el producto será celulosa blanca de eucalipto ECF; los equipos incluirán elementos de control para que las emisiones y descargas al ambiente permitan el cumplimiento de las normas ambientales Chilenas; se utilizarán equipos y tecnología de última generación, según el estado del arte del sector industrial que han sido probados con éxito en instalaciones similares en el mundo; la materia prima será una mezcla de madera de Eucaliptus glóbulus y Eucaliptus nitens; y la celulosa será de alta calidad, de modo que sea un producto competitivo en los mercados internacionales más exigentes.

- Duración y ejecución del proyecto.

La etapa de construcción del proyecto tuvo una duración estimada de 27 meses, desde septiembre de 2004 a noviembre del 2006. De junio a diciembre de 2004, se construyó el Área de Disposición Controlada (ADC).

- Información extraída.

Del EIA se obtiene principalmente información acerca de escenario con y sin proyecto.

**Tabla 21-7: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS**

Situación sin proyecto	-Las emisiones de trs, antes del proyecto, son de 3,6 kg/h medida como h2s y las emisiones difusas de trs alcanzan un máximo de 4,3 kg/h.
Situación con proyecto	-Al entrar en operación la línea 2 de producción de celulosa aumentarán las emisiones de fuentes fijas de trs a 5,8 kg/h y las difusas a 11,2 kg/h.
Información relacionada con los gases trs	<p>-El proyecto fue diseñado incorporando equipos y tecnologías de control para las emisiones a la atmósfera. caldera recuperadora con emisión controlada de trs, so<sub>2</sub> y no<sub>x</sub>, y la recuperación y limpieza de condensados sucios y la recolección, acondicionamiento e incineración de los gases trs concentrados y difusos.</p> <p>-El proyecto sf2 contempla un sistema de recolección de gases trs concentrados y diluidos que los recolectará, los acondicionará y los llevará a su incineración en el circuito de recuperación. el tratamiento de los gases trs de la línea 2 considera la separación de metanol y ácido sulfúrico.</p> <p>-En efecto, en la línea se separa y recupera el metanol para su uso en el proceso y se purifica el ácido sulfúrico para obtener una mejor combustión en la caldera. en el caso de la situación con proyecto, las principales diferencias son: a) los gases de la línea de producción n°2 serán incinerados en la nueva caldera recuperadora (n°2), y b) el sistema de respaldo será común a</p>

ambas líneas de producción y consistirá en un nuevo incinerador de respaldo.

-En la línea 1 se ha contemplado completar el sistema de abatimiento de gases trs existente, incorporando otras fuentes difusas de gases trs.

**Fuente:** Elaboración propia, 2009

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

En base a la información presentada en este estudio de impacto ambiental, se observa la utilización de tecnología de última generación para el control de emisiones de gases TRS, en la implementación del proyecto de ampliación de Planta Santa Fe (Santa Fe 2). Por otro lado se incluyen las mejoras en planta Santa Fe 1 recolectando, incluso parte de los gases no condensables diluidos que se generan en esta línea. Se concluye entonces que en Planta Santa Fe se ha realizado esfuerzos para cumplir con la normativa vigente en relación a los gases TRS e incluso han ido mas haya recolectando los gases diluidos con lo cual se reconoce la importancia de su abatimiento.

### 21.3.6. EIA "Optimización Planta Pacífico PROPAC" 2001.

- Objetivo y actividades

- ✓ El objetivo del proyecto es la optimización de las instalaciones productivas actualmente existentes en Planta Pacífico, para aprovechar al máximo la capacidad instalada de los equipos principales. Las obras están planificadas para ser implementadas sin detener la operación de la fábrica
- ✓ Estudios de mejoramiento de la gestión operacional efectuados por la empresa han concluido que es posible realizar una serie de mejoras que permiten optimizar diferentes etapas del proceso de fabricación, aumentando el nivel de producción, al incorporar cambios tecnológicos de última generación disponibles en el mercado internacional.
- ✓ Complementariamente con lo anterior el proyecto Optimización incluye el mejoramiento del sistema de gestión ambiental de la Planta para lo cual se considera la construcción de un vertedero industrial controlado (VIC).

- Duración y ejecución del proyecto.

La etapa de construcción se programó para ser iniciada el segundo trimestre del 2001 y la etapa de operación se estimó para el segundo semestre del 2002.

- Información extraída.

Emisión diaria de contaminantes atmosféricos de Planta Pacífico con proyecto PROPAC (Toneladas/día)

**Tabla 21-8: Estimación de las emisiones de planta Pacifico sin proyecto (ton/día)**

Fuente	Contaminante			
	Material Particulado	SO <sub>2</sub>	TRS	NO <sub>x</sub>
Horno de cal	0,06	0,73	0,005	0,40
Caldera de recuperación	1,20	0,04	0,048	1,75
Estanque disolvidor	0,35	0,08	0,029	nc
Fuentes difusas y otras emisiones	0,01	nc	0,400	nc
<b>Total</b>	<b>1,6</b>	<b>0,85</b>	<b>0,482</b>	<b>2,15</b>

Fuente: EIA "Optimización Planta Pacifico PROPAC" 2001.

**Tabla 21-9: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS**

Situación sin proyecto	-La planta sin el proyecto cumple con la norma de emisión de gases trs por chimenea, restando tan solo instalar un sistema de incineración de respaldo
Situación con proyecto	-Instalación de un lavador de gases (scrubber) con una eficiencia de 95% en la línea de gases no condensables que ingresan al horno de cal. este scrubber permitirá disminuir el flujo a ser incinerado en el horno de cal con lo cual las emisiones disminuirán en aproximadamente 5.460 kg por año.  -Adelantamiento del cumplimiento de la norma de trs en lo que respecta al control de los venteos eventuales. es así como el proyecto considera la instalación de un incinerador de gases no condensables que sirva de respaldo a la acción del horno de cal. este incinerador de tecnología sofisticada se instalará aguas abajo del scrubber descrito en el punto anterior.

Fuente: Elaboración propia, 2008. En base a EIA "Optimización Planta Pacifico PROPAC" 2001.

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

En base a la información presentada en este estudio de impacto ambiental, se reconoce que desde el año 2001, se realizaran esfuerzos para dar cumplimiento con el D.S 167/99 implementando tecnologías para dar cumplimientos con la recolección de gases no condensables concentrados del área de digestores y evaporadores y un incinerador.

### 21.3.7. EIA "Proyecto Valdivia (Celulosa Arauco y Constitución S.A.) Segunda Presentación" 1997

- Objetivo y actividades

El Proyecto Valdivia consiste en el diseño, construcción y operación de una planta industrial para la obtención de 550 mil toneladas anuales de celulosa Kraft blanqueada de pino radiata y eucaliptos. La planta industrial, diseñada para una vida útil superior a 20 años, representa una inversión del orden de US\$ 1.045 millones.

Desde el punto de vista ambiental, el Proyecto Valdivia ha sido diseñado teniendo como uno de sus objetivos la preservación del equilibrio ecológico, en concordancia con los principios del desarrollo sustentable.

- Duración y ejecución del proyecto.
- ✓ Resolución Calificación Ambiental COREMA Diciembre de 1995.
- ✓ Inicio de faenas de Preparación de terrenos Octubre de 1996.
- ✓ Inicio de construcción de obras civiles Enero de 1997.
- ✓ Puesta en marcha 2º Trimestre de 1999.

- Información extraída.

La información requerida relacionada a la emisión de TRS se obtiene de los informes de auditorías realizadas en la sección de **Seguimiento y Fiscalización** del SEIA.

**Tabla 21-10: Información recolectada en relación a las emisiones de gases TRS**

Situación con proyecto (auditoría)	<p>-La planta en sin el proyecto cumple con la norma de emisión de gases TRS por chimenea, restando tan solo instalar un sistema de incineración de respaldo.</p> <p>-En el tema de las emisiones a la atmósfera planteadas en la RCA y EIA del proyecto planta valdivia de celco s.a. no se observan desviaciones o diferencias específicas, respecto del control de emisiones de material particulado, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y TRS para los cuales, la empresa se comprometió a instalar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavadores de gases de alta eficiencia.</li> <li>- Sistemas de control y optimización de la combustión en calderas y horno de cal.</li> <li>- Sistema de incineración para gases (actualmente en inicios de operación)</li> </ul> <p>-Informe auditoría ambiental nacional seguimiento puesta en marcha visita a terreno nº6, 2005: se obtuvieron diagrama de flujos de los sistemas recolectores de gases.</p> <p>-Fase 2 del reporte de la auditoría a celulosa Arauco y constitución, planta Valdivia, Chile. consultants of the national cleaner production center - cntl senai -abril/mayo 2006: se obtienen los límites de emisión fijado por la conama en la resolución exenta nº297/98 el 30 de octubre de 1998 siendo la emisión limite de trs de 0,25 ton/día.</p>
------------------------------------	---

**Fuente:** Elaboración propia, 2009

- Conclusión relacionada a los avances de en materia de TRS

En base a la información presentada en este estudio de impacto ambiental, se reconoce que desde el año 2001, se realizaran esfuerzos para dar cumplimiento con el D.S 167/99 implementando tecnologías para dar cumplimiento con la recolección de gases no condensables concentrados del área de digestores y evaporadores.

#### **21.4. Memoria de cálculo para estimación de costos asociados a los sistemas de recolección de gases diluidos.**

En este anexo se detalla el cálculo del costo de los sistemas recolectores de gases diluidos.

Los costos se determinaron considerando el estudio canadiense "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill, 2008". En el estudio antes mencionado se presentan los costos de operación y de inversión, considerando una planta antigua y nueva y un rango de producción (800 y 300 ton Pulpa/día). La información necesaria para el cálculo se presenta en la Figura 21-3.

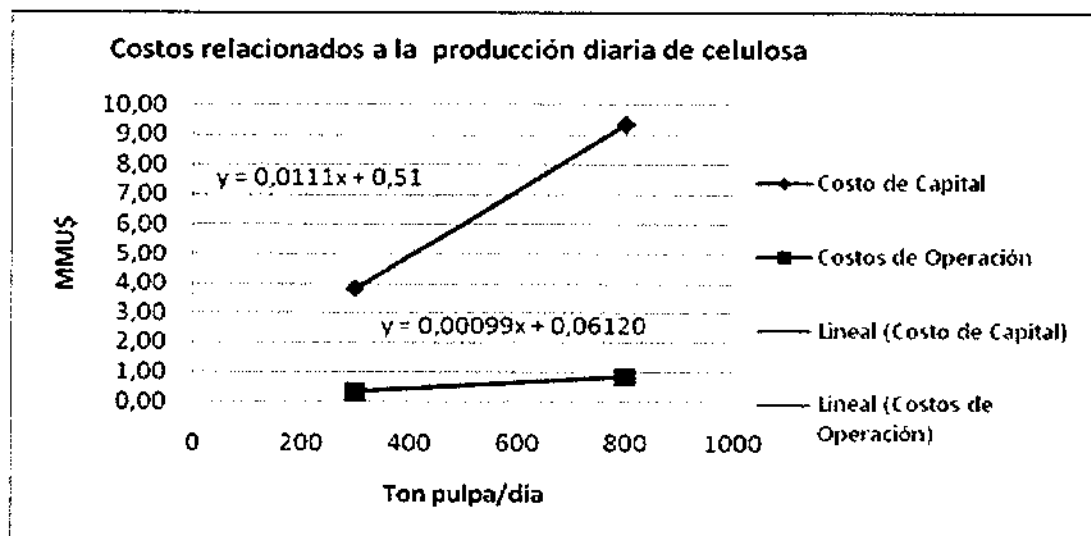
Concentrated NCG System		Dilute NCG System	
Existing older mill TRS reduction	New greenfield mill TRS reduction	Existing older mill TRS reduction	New greenfield mill TRS reduction
<b>Capital Costs, in M\$</b>			
2.3-5	2.5-6	4.5-11	4.7-13
<b>Annualized Capital Cost in k\$/a</b>			
370-800	400-1000	700-1800	700-2100
<b>Operating Cost in k\$/a</b>			
90-200	190-400	420-1000	450-1100
<b>Annualized total cost of Control Measure in k\$/a</b>			
460-1000	590-1400	1100-2800	1200-3200
<b>Annualized total cost of Control Measure, \$/ADt production</b>			
2.15-4.40	1.70-3.30	5.70-9.90	3.50-8.70
<b>Pollutant Removal Costs,</b>			
\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S
980-3700	780-2800	28.000-124.000	18.000-110.000
\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>
430-1500	340-1100	6300-25.000	3900-22.000

Note: a - Order of Magnitude costs for equipment described in Table D - 1. See section Basis of Cost Estimates for details.

**Figura 21-3: Datos necesarios para calcular los costos.**

Fuente: "Technical and regulatory review and benchmarking of air emissions from Alberta's Kraft pulp Mill, 2008"

El primer paso es transformar de dólares canadienses a dólares EEUU, lo cual se realiza multiplicando por el factor de conversión de 0,85, entonces el rango de costos de capital pasan de 4,5-11 Millones de dólares canadienses a 3,8-9,35 Millones de US\$ (de manera similar se realiza para el costo de operación). Considerando lo anterior se relaciona el rango de costo asociado al rango de producción como se muestra en la Figura 21-4 (300 y 800 ton pulpa/año).



**Figura 21-4: Costos en función de la producción diaria de celulosa.**

Fuente: Elaboración propia, 2009.



De la Figura 21-4 se obtienen las ecuaciones y se calculan los costos en función de la producción. Para el caso de Licancel, por ejemplo, con una producción diaria de 414 ton pulpa/día se obtienen los siguientes resultados.

Entonces:

Costo de capital  $= (0,01105 \cdot 414 + 0,51) \cdot 1,04 = 5,3$  MMU\$

Costo de operación  $(0,000986 \cdot 414 + 0,0612) \cdot 1,04 = 0,5$  MMU\$

Donde  $\frac{\text{Indice costo de planta química 2008}}{\text{Indice costo de planta química 2007}} = \frac{548}{525} = 1,04$

## 21.5. Análisis del costo de operación del sistema recolector de Gases Diluidos.

Al revisar la evaluación económica de la modificación de la norma de emisión de gases TRS, se observa claramente que el costo predominante es el asociado al sistema recolector de gases diluidos, tanto en inversión, como en costo de operación. Por lo anterior se ha realizado un análisis más exhaustivo en este punto para identificar costos más representativos y detallados, principalmente relacionados al costo de operación y mantención.

### 21.5.1. Antecedentes generales

En primera instancia el cálculo de costos, asociado a la medida de mitigación de recolección de gases diluidos, se realizó en base al estudio "Technical and Regulatory Review and Benchmarking of air Emissions for Alberta's Kraft Pulp Mill", 2008. Los datos utilizados se muestran en la figura a continuación:

Concentrated NCG System		Dilute NCG System	
Existing older mill TRS reduction	New greenfield mill TRS reduction	Existing older mill TRS reduction	New greenfield mill TRS reduction
<b>Capital Costs, in M\$</b>			
2.3-5	2.5-6	4.5-11	4.7-13
<b>Annualized Capital Cost in k\$/a</b>			
370-800	400-1000	700-1800	700-2100
<b>Operating Cost in k\$/a</b>			
90-200	190-400	420-1000	450-1100
<b>Annualized total cost of Control Measure in k\$/a</b>			
460-1000	590-1400	1100-2800	1200-3200
<b>Annualized total cost of Control Measure, \$/ADt production</b>			
2.15-4.40	1.70-3.30	5.70-9.90	3.50-8.70
<b>Pollutant Removal Costs,</b>			
\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S	\$/t TRS as H <sub>2</sub> S
980-3700	780-2800	28.000-124.000	18.000-110.000
\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>	\$/t VOC as CH <sub>4</sub>
430-1500	340-1100	6300-25.000	3900-22.000

Notes: a - Order of Magnitude costs for equipment described in Table D - 1. See section Basis of Cost Estimates for details.

**Figura 21-5: Datos utilizados en la estimación de costos.**

**Fuente:** Technical and Regulatory Review and Benchmarking of air Emissions for Alberta's Kraft Pulp Mill", 2008. (Dolares canadienses).

De la figura anterior se obtuvieron los rangos de costos para sistemas recolectores de gases diluidos en plantas de celulosa existentes (300 a 800 ton pulpa/día). Considerando lo anterior se aplicó un ajuste lineal para encontrar los costos de capital y operación en función de la producción, obteniendo los siguientes resultados:

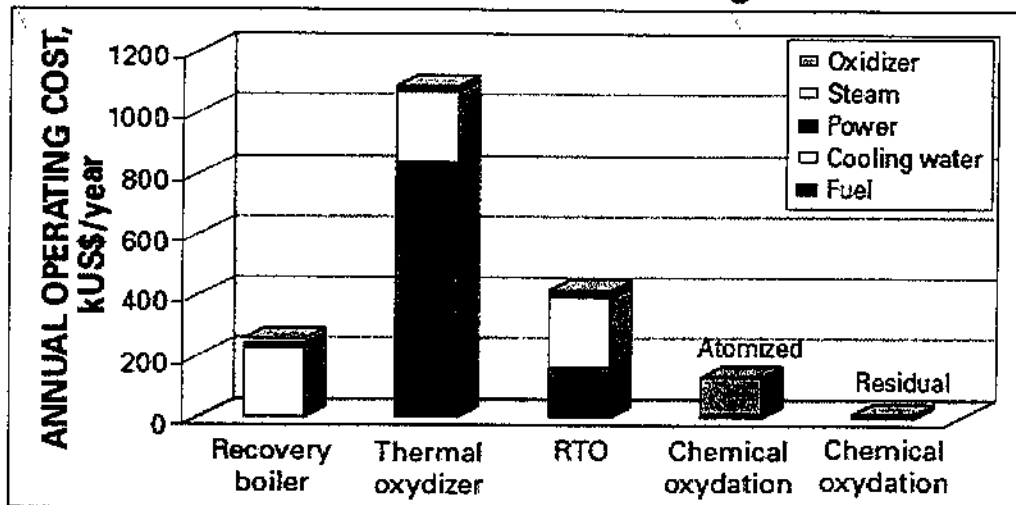
**Tabla 21-11: Costos estimados para el sistema recolector de gases**

Producción Ton pulpa/día	300-800	
Costo Sistema DNCG (2007) MMUS\$	3,83-9,35	
Costo operación MMUS\$/año	0,36-0,85	
Índice costo de planta química 2008	548	
Índice costo de planta química 2007	525	
Factor de corrección	1,04	
Plantas que necesitan aplicar DGNC	Costo de sistema de gases diluidos MMUS\$	Costos de operación MMUS\$
Licancel	5,3	0,5
Constitución	12,1	1,1
Arauco 1	9,5	0,9
Arauco 2	17,6	1,6
Pacifico	17,7	1,6
Total	62,1	5,6
CAN MMUS\$	94,2	
CAE MMUS\$/año	8,2	

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 21-11, se observa que los costos totales de las medidas son relevantes y están en el orden de los US\$ 60 millones observando también que el costo de operación bordea el 10 % de la inversión. Es en este último punto, de los costos de operación, donde se requiere analizar con mayor detalle, para incorporarlos a la evaluación económica.

En bases a lo anterior se consulto el artículo "Comparative annual cost efficiency between thermal and chemical oxidation of TRS in kraft mills", 2005 de la revista Tappi, en el cual se detallan los costos de operación que tienen estos sistemas segregándolos en distintos ítemes. En la Figura 21-6 se muestran los costos asociados a distintos sistemas de tratamiento de gases diluidos.



**Figura 21-6: Costos de operación por año para distintas medidas. Costos determinados para un flujo de 17000Nm<sup>3</sup>/h.**

Fuente: "Comparative annual cost efficiency between thermal and chemical oxidation of TRS in kraft mills", 2005

Como se observa de Figura 21-6 se presentan los costos de operación de los sistemas de mitigación para los gases diluidos donde se segregan distintos costos de operación entre los cuales están:

- **Combustibles:** Necesarios para quemar los gases en equipos dedicados (incineradores).
- **Enfriamiento de la corriente gaseosa:** Esta operación es sumamente necesaria, ya que al enfriar los gases disminuye el caudal procesado y por ende las dimensiones de los equipos utilizados.
- **Potencia:** Esta se refiere a la electricidad necesaria para hacer funcionar los ventiladores que generan el transporte de los gases.
- **Vapor:** Se utiliza vapor en pequeñas cantidades para precalentar el gas que entra a la caldera, minimizando el potencial de corrosión y evitando la introducción de condensados al sistema de combustión.
- **Oxidantes:** Estos costos se refieren a productos químicos los cuales se hacen reaccionar con la corriente gaseosa oxidándola químicamente.

De la figura entonces se extraen distintas alternativas de mitigación siendo las más utilizadas en la actualidad, la recolección de los gases y su posterior quemado en diferentes equipos. En el primer caso la combustión de los gases se realiza en la caldera recuperadora y en el segundo caso se realiza en un incinerador dedicado (ver Figura 21-6). Como se observa la principal diferencia se debe a los costos por uso de combustible externo para quemar los gases, ya que en el primer caso no se necesitan otros combustibles, debido a que se queman los gases en la caldera recuperadora donde el licor negro es quemado y utilizado como combustible.

En base a los antecedentes se puede realizar una estimación basándose en el hecho de la generación de gases no condensados diluidos de las plantas de celulosa en Chile, en relación a un sistema recolector de gases completo como es el que tiene Santa Fe. Asumiendo entonces que se recolectan 50.000 Nm<sup>3</sup>/h por 780.000 ton pulpa al año se tiene un factor de recolección por pulpa procesada del orden de 0,064 (Nm<sup>3</sup>\*año)/(ton pulpa\*h). Con este factor se calcula la recolección de gases de las otras plantas si tuvieran implementado esta tecnología de mitigación. Los flujos de recolección

estimados para las plantas de celulosas que requieren aplicar el sistema de mitigación se muestran en la Tabla 21-12.

**Tabla 21-12: Estimación de flujos recolectados**

Planta	Producción ton pulpa/año	Flujo de gases diluidos Nm <sup>3</sup> /h
Licancel	145.000	9295
Constitución	350.000	22436
Arauco 1	271.256	17388
Arauco 2	516.436	33105
Pacífico	520.000	33333

Fuente: Elaboración Propia.

Los flujos estimados permiten realizar un cálculo simple de los costos de operación en función de lo observado en la Figura 21-6. Los resultados se muestran en la Tabla 21-13.

**Tabla 21-13: Estimación de Costos de operación**

Planta	Costos de operación MMUS\$	
	Sistema de combustión con incinerador dedicado	Sistema de Combustión caldera recuperadora
Licancel	0,55	0,11
Constitución	1,32	0,26
Arauco 1	1,02	0,20
Arauco 2	1,95	0,39
Pacífico	1,96	0,39
Total	6,80	1,36

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia, al estimar los costos de operación en función de esta metodología, los resultados arrojan un orden del 10% con respecto a la inversión, en caso de utilizar un incinerador dedicado, lo cual es similar a la estimación realizada con la metodología anterior (ver anexo 21.4). Sin embargo, el costo de operación cuando se considera que la combustión se genera en la caldera recuperadora se reduce sustancialmente debido a que no existe consumo de combustible externo. Esta última tecnología por experiencia en Chile, es la que más se utiliza lo cual se demuestra en los sistemas instalados para Santa Fe, Nueva Aldea y Valdivia.

Asumiendo entonces que se queman los gases en la caldera recuperador y no en un incinerador dedicado, se ha estimado el costo de inversión, eliminando lo relacionado al incinerador.

Para estimar cuanto influye un incinerador en el costo de inversión calculado, se consultaron diferentes fuentes bibliográficas las cuales se detallan a continuación:

- "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry", December 2001: En este documento se presenta cuanto es el costo relacionado a un sistema de recolector de gases diluidos incluyendo el incinerador y sin incinerador. En base a esto se tienen los siguientes costos:

**Tabla 21-14: Influencia del incinerador en los costos de operación de un sistema recolector de gases**

	MMEuros (2001)
Sistema recolector de gases sin incinerador	8
Sistema recolector de gases con incinerador	11
Influencia del incinerador en el costo de inversión	27 %

Fuente: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry" 2001.

- "An Environmental Systems Analysis of the Kraft Pulp Industry in Thailand, Warit Jawjit , 2004: En este documento se presenta cuanto es el costo relacionado a un sistema de recolector de gases concentrados y diluidos quemados en el horno de cal y en un incinerador dedicado

**Tabla 21-15: Influencia del incinerador en los costos de operación de un sistema recolector de gases**

	MMUS \$ (2005)
Sistema recolector de gases quemando los gases en el Horno de Cal	6,1-9,8
Sistema recolector de gases con incinerador	9,8-13,4
Influencia del incinerador en el costo de inversión	38-27 %

Fuente: "An Environmental Systems Analysis of the Kraft Pulp Industry in Thailand, Warit Jawjit , 2006".

En base a las fuentes bibliográficas consultadas se extrae que el costo del incinerador representa aproximadamente un 30 % de la inversión total de un sistema recolector de gases. Entonces en base a la Tabla 21-11 se obtienen los costos de inversión, considerando un 30 % menos (sin considerar la inversión de un incinerador), los cuales se muestran a continuación.

**Tabla 21-16: Costos de inversión de un sistema recolector de gases diluidos sin incinerador dedicado**

Plantas que necesitan aplicar DGNC	Costo de sistema de gases diluidos MMUS\$
Licancel	3,7
Constitución	8,4
Arauco 1	6,6
Arauco 2	12,3
Pacifico	12,4
<b>Total</b>	<b>43,4</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2009.

## 21.6. Memoria de cálculo de factores de emisión.

En este anexo se realiza un ejemplo de cálculo para explicar cómo se obtienen los factores de emisión de la plantas. El ejemplo se realizara en base a planta Pacifico.

- Identificación de factores utilizados.

Según información mencionada en la Tabla 6-5 en relación a Planta Pacifico se establece que no existe recolección de gases diluidos y del área de lavado. En base a esta información se infiere que los factores de la Tabla 6-3 ocupados serán los de la fuentes misceláneas y del área de lavado.

Entonces:

F. Emisión fuentes misceláneas + Factor de emisión del área de lavado= factor de emisión de la planta.

$(0,13 + 0,255)$  kg TRS/ton de pulpa= 0,31 kg TRS/ton de pulpa.

## 21.7. Tratamiento de los beneficios.

Para realizar la evaluación económica se establece el siguiente procedimiento para determinar la transferencia de beneficios:

- Los rangos de beneficios obtenidos (se transforman a moneda estadounidense, considerando que \$ 550 es 1 US\$).
- Luego se transforman a valores anuales dependiendo si es que se tratan beneficios obtenidos por la metodología a disponibilidad a pagar.
- Mediante el uso del IPC se actualizaron los beneficios. En la Tabla 21-17: Valores de IPC considerados se observan los valores considerados.

**Tabla 21-17: Valores de IPC considerados**

Año	IPC
2008	140
2006	123
2001	109
2002	111

**Fuente:** INE

- Finalmente se procede a evaluar económicamente considerando lo siguiente:
  - Para el caso de la metodología de disposición a pagar se tiene que considerar el aumento de la población año a año.
  - Por otro lado con la metodología de precios hedónicos el beneficio se evalúa una sola vez por vivienda y luego se considera las proyecciones de las viviendas construidas por año.

## **21.8. Resumen de la información recopilada para tecnologías de abatimiento.**

En este anexo se presentan un resumen de los documentos utilizados para encontrar las medidas de abatimiento de los gases TRS en las fábricas de celulosa.

### **21.8.1. Resumen del documento "Alkaline oxidation of hydrosulfide and methyl mercaptide by iron/cerium oxide-hydroxide in presence of dissolved oxygen. Possible application for removal of Total Reduced Sulfur (TRS) emissions in the Pulp & Paper industry"**

Este documento es una memoria de título de la Universidad Laval de Canadá, en la cual se analiza una medida de mitigación a nivel experimental que es la remoción de TRS mediante un procesos de oxidación alcalina, por lo cual se hace mención de otros métodos reconocidos y que se utilizan en la actualidad para el tratamiento de estos gases los cuales son los que se informan en la tabla 4-2 y tabla 4-3.

### **21.8.2. Resumen del documento "Emission and odour control in Kraft pulp mills"**

Este artículo describe un trabajo sistemático realizado en el ámbito de las emisiones atmosféricas procedentes de fábricas de celulosa Kraft portuguesas. El documento se centra principalmente en las emisiones de gases responsables del mal olor y las medidas de mitigación asociadas a sus costos, por lo que de este documento se obtuvieron referencias de costos de los equipos y medidas a tomar para reducir emisiones de TRS.

### **21.8.3. Resumen del documento "Development of new environmental emission limit guidelines for any new bleached eucalypt kraft pulp mil in Tasmania".**

Este es un estudio técnico en que se informan las líneas de acción para establecer límites de emisión de distintos contaminantes en función de la legislación extranjera y las mejores tecnologías disponibles en Tasmania. De este documento se extrajo los sistemas de tratamiento más utilizados y las mejores tecnologías disponibles.

## **21.9. Descripción de cada método de abatimiento.**

### **21.9.1. Incineración**

La combustión es uno de los métodos más utilizados para eliminar compuestos volátiles presentes en el gas. La oxidación de dichos contaminantes resulta en la formación de vapor de agua y óxidos de otros precursores oxidables presentes en la corriente gaseosa.

Específicamente la operación de incineración se realiza en hornos a elevadas temperaturas generalmente calentados por llama directa por donde se hacen circular los gases a tratar. Se utiliza para destruir volátiles que son de difícil condensación. Los factores críticos que determinan la eficiencia de los incineradores son:

- La temperatura de la cámara de combustión
- El tiempo de residencia de los gases en la cámara
- Las características hidrodinámicas del sistema
- La cantidad de  $O_2$  disponible

Estos factores son difíciles de controlar, sobretodo en situaciones donde la composición de la carga presenta alta variabilidad.

### **21.9.2. Scrubber húmedo (amina/alcalino)**

Si el compuesto gaseoso es soluble en un líquido, se puede absorber y retirarlo en solución líquida. El agua es el medio absorbente más utilizado a escala industrial. En muchos casos, se agrega solutos al medio acuoso, tales como hidróxido de sodio o aminas, para incrementar la solubilidad del gas que se requiere absorber. Generalmente, se utiliza columnas de relleno para aumentar el área de contacto gas-líquido. Alternativamente, se pueden utilizar columnas de platos. El gas se hace circular en contracorriente con el líquido absorbente.

Estos procesos son utilizados en la eliminación de  $SO_2$ ,  $H_2S$  y compuestos orgánicos volátiles de las corrientes gaseosas residuales. Ya que el contaminante solamente cambia de fase, en muchos casos el líquido residual debe ser tratado antes de su vertido final, para cumplir con las normas de control ambiental.

En algunos casos, los procesos basados en absorción se implementan con vistas a recuperar el contaminante y reprocesarlo. Por ejemplo, la absorción selectiva de  $H_2S$  para su utilización en la producción de azufre y sulfidato de sodio. Ello implica agregar otras unidades para recuperar selectivamente el contaminante de interés.

### **21.9.3. Oxidación húmeda con (ClO-/ClO2)**

Oxidación húmeda es una forma de tratamiento hidrotérmico que se basa en el hecho de que los contaminantes son más fáciles de oxidar en medio acuoso. En este método se oxidan los componentes disueltos o suspendidos en el agua usando el ClO/ClO2 como oxidante. La reacciones de oxidación se producen en el agua a una temperatura superior a la normal de ebullición del agua ( $100^\circ C$ ), pero por debajo del punto crítico ( $374^\circ C$ ) por lo que es necesario que el sistema este bajo presión para evitar una excesiva evaporación de agua.

### **21.9.4. Bio-filtración**



Esta medida de mitigación consiste en hacer pasar una corriente gaseosa saturada con agua por un filtro, el cual consiste en una masa compactada de biomasa que es capaz de generar enzimas que reducen los contaminantes absorbidos. El biofiltro es una combinación de adsorción (los medios de comunicación en la que las bacterias colonizan proporciona una superficie de adsorción) y de absorción (el medio húmedo de el biofilm genera una superficie para absorber los contaminantes). La combinación de los procesos anteriores hacen que esta medida sea mucho más eficiente en compuestos solubles en agua (favoreciendo el proceso de absorción). Para este caso en particular los compuestos solubles son el  $H_2S$  y el  $CH_3SH$ .

### 21.9.5. Inyección de $H_2O_2$ en el Horno de Cal

Este método de abatimiento se basa principalmente en el poder oxidativo que tiene el peróxido para muchos compuestos orgánicos e inorgánicos. Para este caso el  $H_2O_2$  actúa sobre los TRS oxidándolos y generando como subproducto  $SO_2$  y  $H_2O$ .

### 21.9.6. Adsorción con carbón activado

Se utiliza el carbón activado (absorbente) para adsorber y retener selectivamente los compuestos que se desea retirar de la fase gaseosa. Los sistemas basados en adsorción varían de acuerdo al tipo de contacto existente entre la fase gaseosa y la fase sólida:

- Sistemas de Lecho Fijo: Se utiliza columnas rellenas con adsorbente y el gas circula continuamente a través del lecho. A medida que los sólidos adsorben los contaminantes, su capacidad de adsorción se reduce gradualmente, hasta alcanzar el punto de saturación. Cuando la eficiencia de depuración alcanza un nivel muy bajo, el adsorbente debe ser cambiado por adsorbente fresco o reconstituido. La reconstitución del adsorbente saturado se logra frecuentemente mediante tratamiento térmico con vapor sobrecalentado; sin embargo, el contaminante desorbido se transfiere al vapor de agua, lo que requiere tratamiento posterior (por ejemplo, incineración). Cuando se requiere mantener una operación continua, se debe tener una torre de reemplazo, de modo que ésta entre en operación mientras se procede a la reposición del adsorbente colmatado.
- Sistema de Lecho Fluidizado: Este sistema permite un contacto íntimo entre el sólido adsorbente y el gas. Se debe utilizar un sistema de separación sólido-gas para recuperar las partículas de material adsorbente arrastradas por el gas.

### 21.10. Índices de costos para plantas químicas.

El índice para el 2008 mostro un valor de 575,4 y para el 2007 de 525,4 el cual aparece en las paginas:

- <http://www.scribd.com/doc/18247545/Plant-Cost-index2009>

TABLE 2. ANNUAL PLANT COST INDEXES						CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)			
Year	Construction	Equipment	Construction labor	Buildings	Engineering and supervision				
1975	102.4	194.7	146.6	177.0	141.8				
1976	192.1	205.8	174.2	187.3	180.8				
1977	204.1	220.9	178.2	199.1	162.1				
1978	218.8	240.3	185.9	213.7	161.9				
1979	238.7	264.7	194.9	228.4	185.9				
1980	261.2	292.4	204.3	238.3	214.8				
1981	297.0	323.9	242.4	274.9	244.5				
1982	314.0	336.2	263.9	290.1	304.9				
1983	317.0	336.0	267.6	295.6	323.3				
1984	322.7	344.0	264.5	300.3	336.3				
1985	325.3	347.2	265.3	304.4	338.9				
1986	318.4	336.3	263.0	303.9	341.2				
1987	323.8	343.9	262.6	309.1	346.0				
1988	342.5	372.7	285.6	319.2	343.3				
1989	365.4	391.0	270.4	327.6	344.8				
1990	367.6	392.2	271.4	329.5	358.9				
1991	361.3	396.9	274.8	332.9	364.6				
1992	354.2	392.2	273.0	334.6	354.1				
1993	359.2	391.3	270.9	341.6	352.3				
1994	368.1	406.9	272.9	353.8	351.1				
1995	381.1	427.3	274.3	347.4	347.6				
1996	381.7	427.4	277.5	346.1	344.2				
1997	386.5	433.2	281.9	371.4	342.5				
1998	389.5	436.0	287.4	374.2	341.2				
1999	390.8	435.5	292.3	380.2	339.9				
2000	394.1	438.0	299.2	385.6	340.6				

		(1957-59 = 100)	Jun.'09 Prelim.	May.'09 Final	Jun.'08 Final	Annual Index:
<b>CE Index</b>	_____		508.9	509.1	597.1	2001 = 394.3
Equipment	_____		596.8	596.8	729.7	2002 = 395.6
Heat exchangers & tanks	_____		529.9	529.9	738.2	2003 = 402.0
Process machinery	_____		583.0	583.0	658.7	2004 = 444.2
Pipe, valves & fittings	_____		748.1	748.1	858.8	2005 = 468.2
Process instruments	_____		388.9	389.0	452.8	2006 = 499.6
Pumps & compressors	_____		896.7	896.7	865.9	2007 = 525.4
Electrical equipment	_____		458.9	458.9	459.0	2008 = 575.4
Structural supports & misc	_____		602.4	602.4	793.1	
Construction labor	_____		326.0	326.6	319.4	
Buildings	_____		485.2	485.4	515.3	
Engineering & supervision	_____		347.3	347.9	353.9	

Starting with the April 2007 Final numbers, several of the data series for labor and compressors have been converted to accommodate series IDs that were discontinued by the U.S. Bureau of Labor Statistics

**Figura 21-7: Índice de de costos para plantas químicas.**

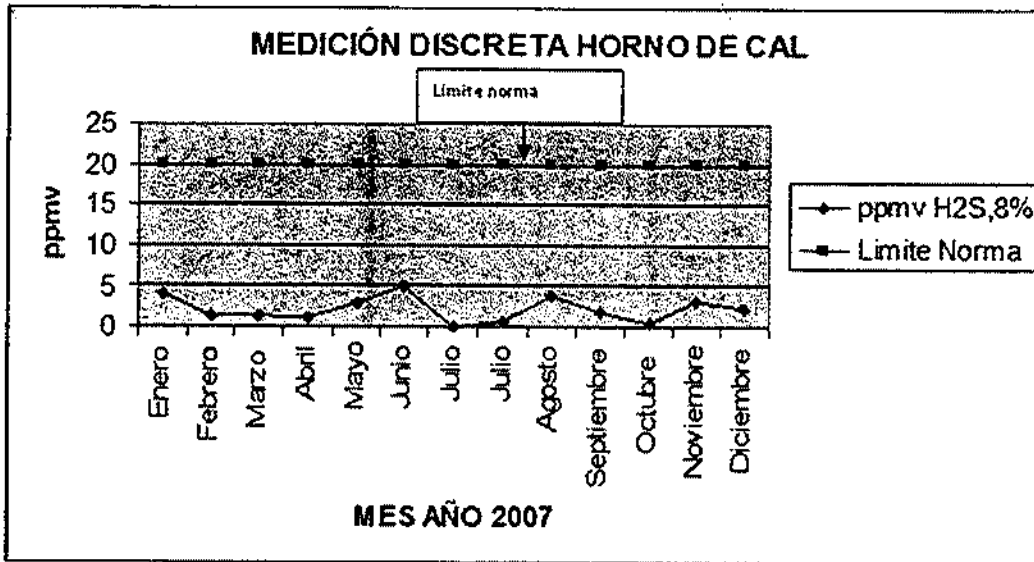
Fuente: "Updating the CE Plant Cost Index". January Chemical engineering 2002. Chemical Engineering, www.che.com, September 2009

## 21.11. Visualización del Monitoreo de las emisiones de TRS

En la Tabla 3-19 se observa claramente el estado de cumplimiento de las empresas en relación a los límites máximos de emisión presentados en el D.S 167/99. Sin embargo, esta información no representa en su totalidad el comportamiento de las emisiones de una planta de celulosa. Para visualizar y ejemplificar el sistema de monitoreo anual que presentan las empresas y así observar la holgura de cumplimiento de la norma, se presenta a continuación una serie de figuras que grafican las emisiones de TRS por equipo para distintas empresas.

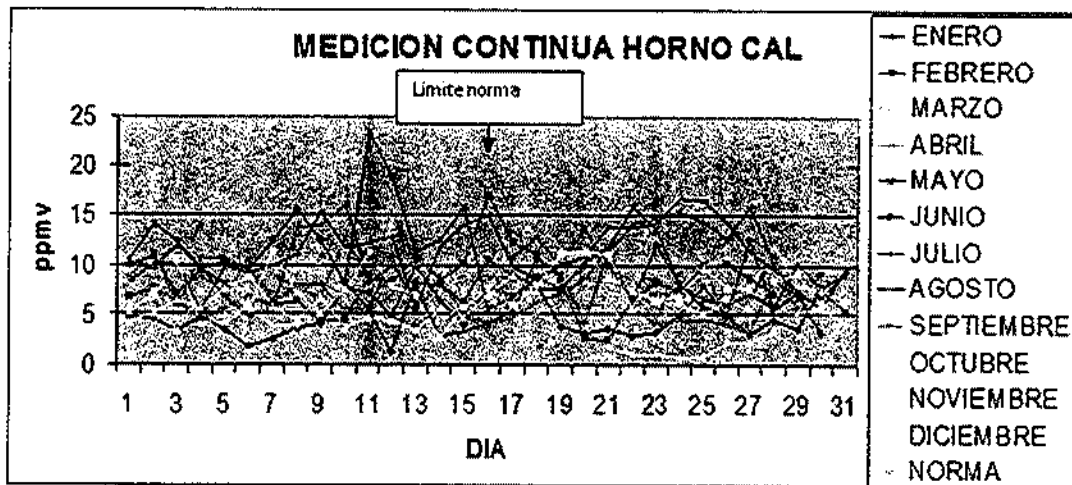
Es necesario mencionar que las variaciones que presentan las mediciones se pueden deber a alteraciones propias de los procesos debido a cambios de estados estacionarios (aumento de producción, disminución de producción por ejemplo), también a eventualidades relacionadas a emergencias a alguna parte del proceso que afecte directamente a la generación de gases TRS ( mal funcionamiento de evaporadores, problemas en la caldera de poder, falla en los sistemas de control) y finalmente a fallas humanas.

### 21.11.1. Visualización de las emisiones para distintas plantas de celulosa monitoreadas para el horno de Cal.



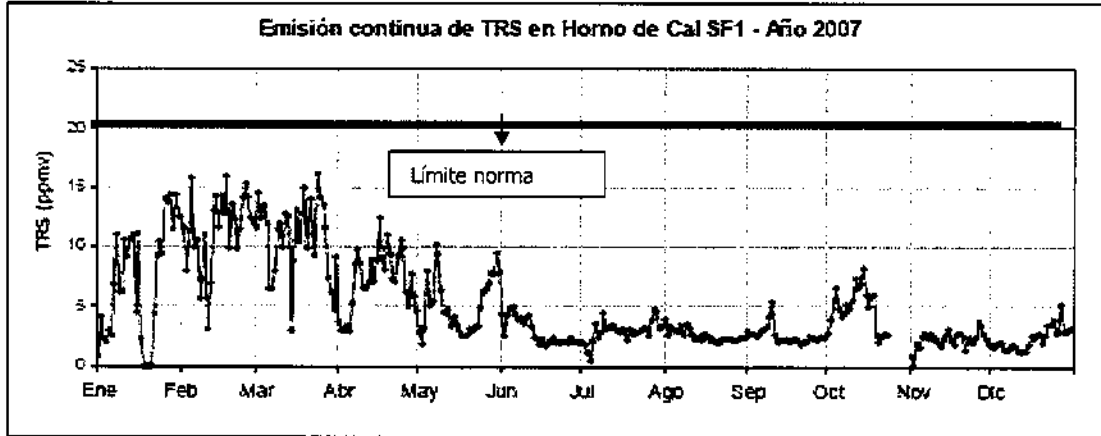
**Figura 21-8: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la línea 1 de la planta Arauco durante el periodo 2007**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



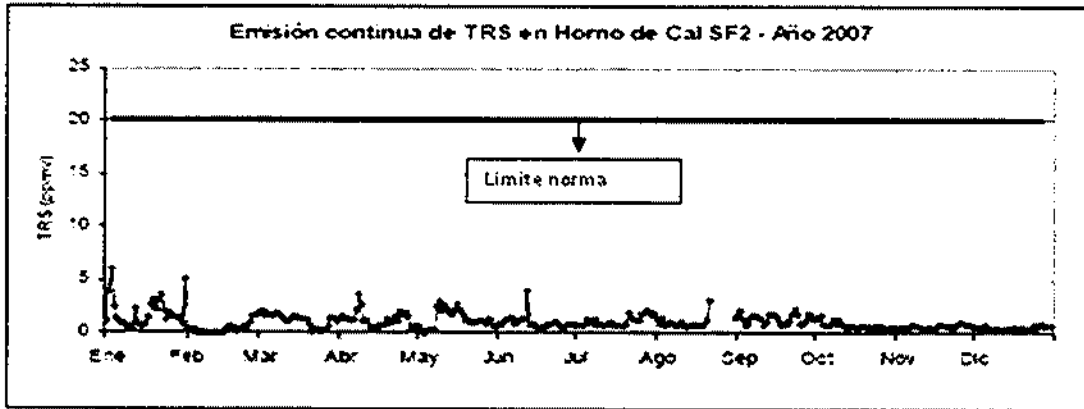
**Figura 21-9: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la línea 2 de la planta Arauco durante el periodo 2007**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



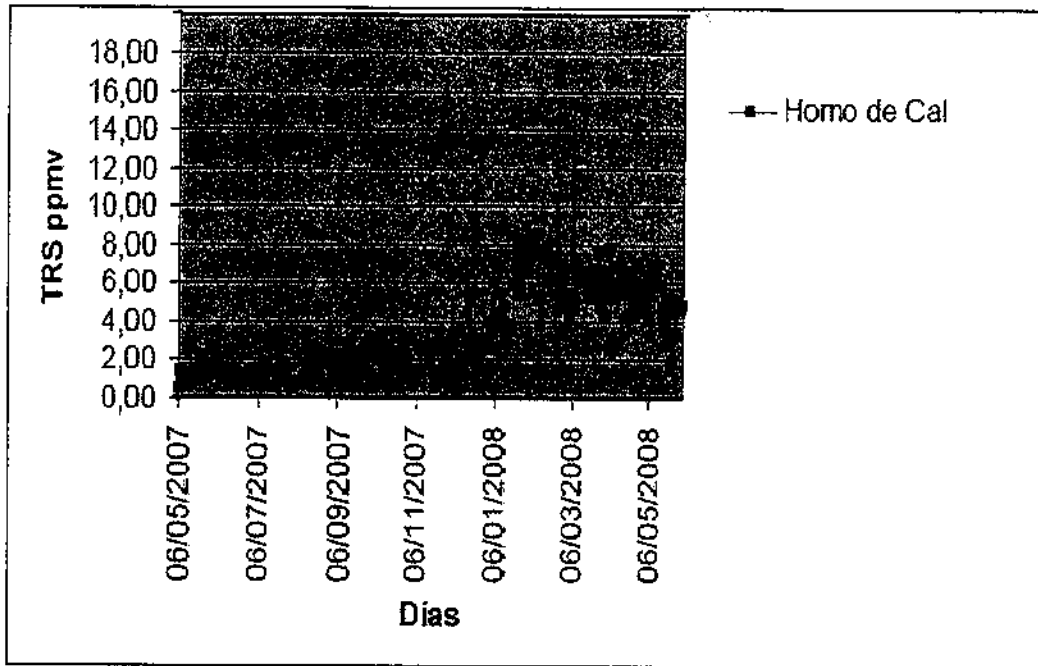
**Figura 21-10: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la línea 1 de la planta Santa Fe durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



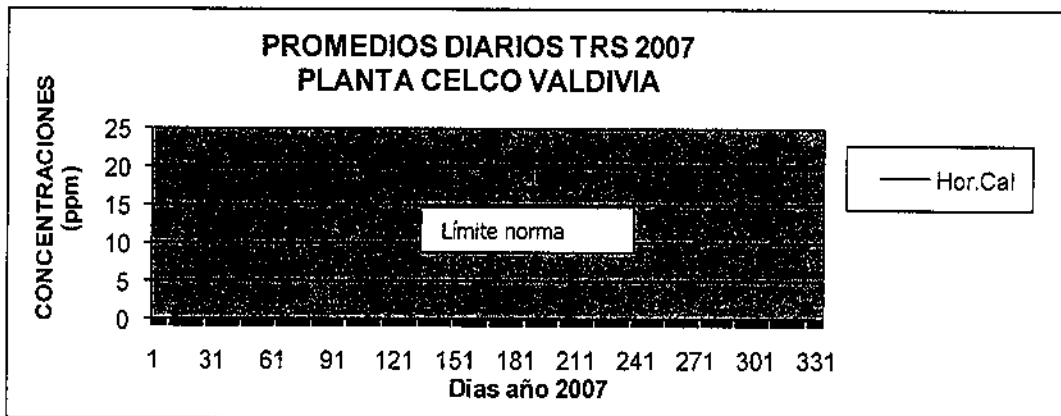
**Figura 21-11: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la línea 1 de la planta Santa Fe durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



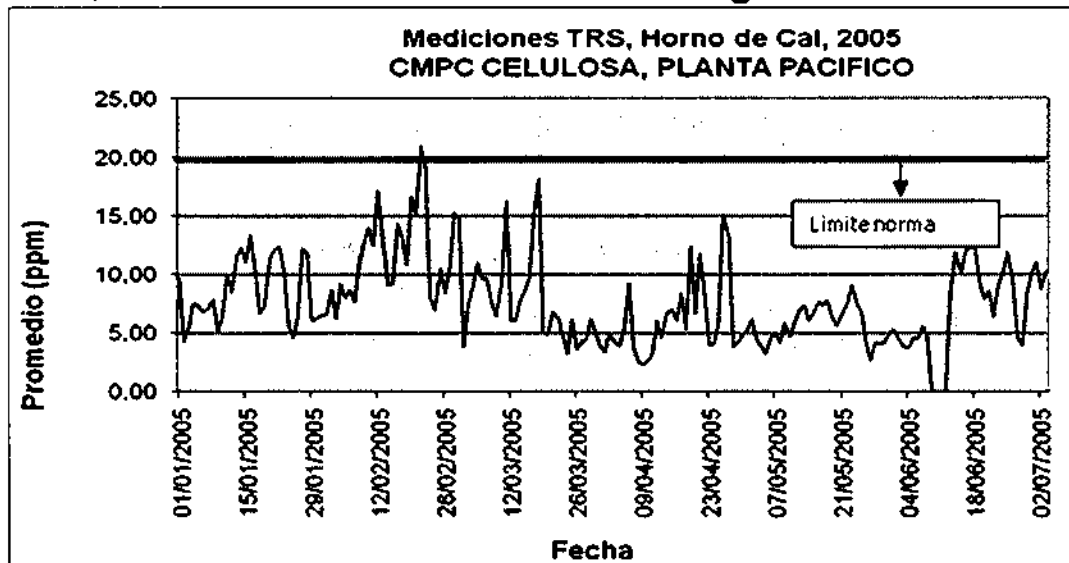
**Figura 21-12: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la planta Nueva Aldea durante el periodo 2007-2008.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



**Figura 21-13: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la planta Valdivia durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



**Figura 21-14: Monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de la planta Pacifico durante el periodo 2005.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.

Al observar el monitoreo de las emisiones de TRS del horno de cal de distintas plantas de celulosa, es notorio la variabilidad de las emisiones de TRS, superando en algunos periodos el límite normado. Lo anterior se acentúa aun más en el caso de plantas antiguas como lo son Planta Pacífico y Santa Fe línea 1, por otro lado Nueva aldea, Valdivia y Santa Fe línea 2 se observa que cumplen la norma holgadamente.

### 21.11.2. Visualización de las emisiones para distintas plantas de celulosa monitoreadas para la caldera recuperadora

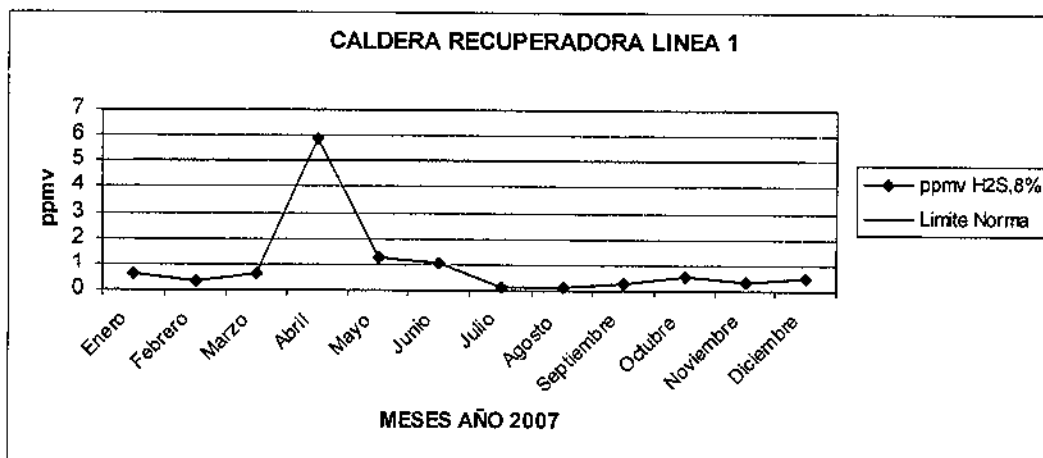


Figura 21-15: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de la línea 1 de planta Arauco durante el periodo 2007.

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.

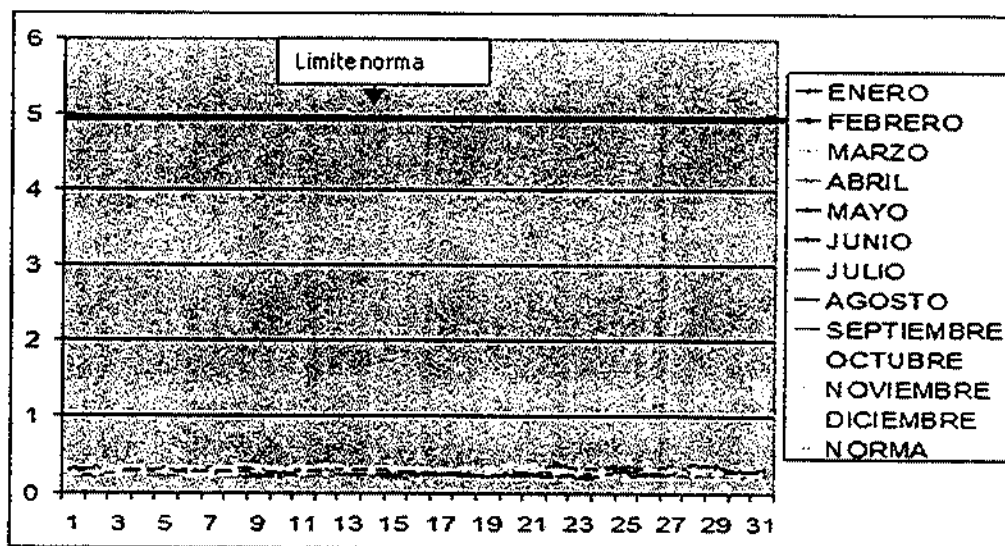
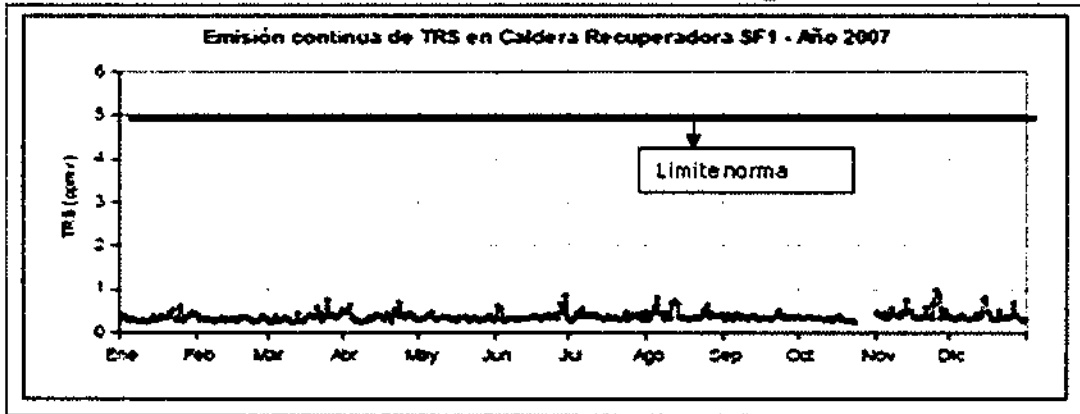


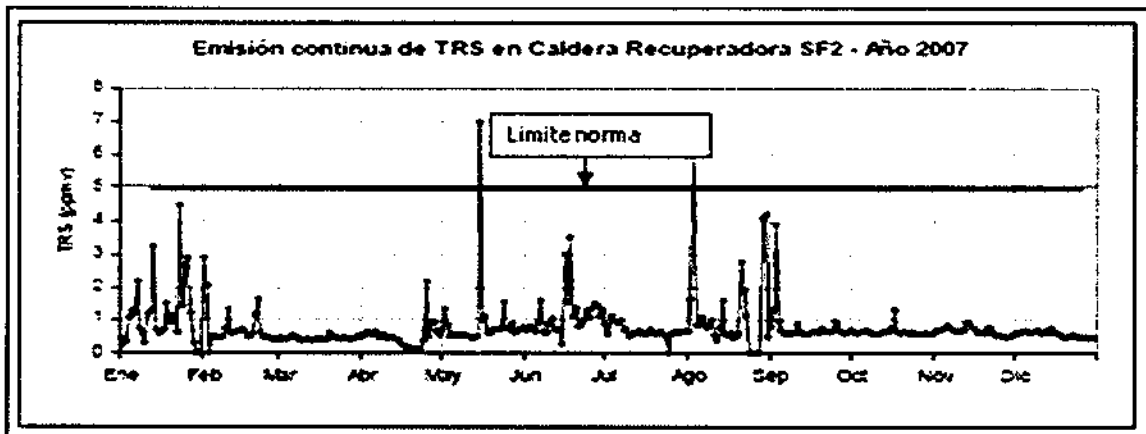
Figura 21-16: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de la línea 2 de planta Arauco durante el periodo 2007.

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



**Figura 21-17: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de la línea 1 de planta Santa Fe durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



**Figura 21-18: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de la línea 2 de planta Santa Fe durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



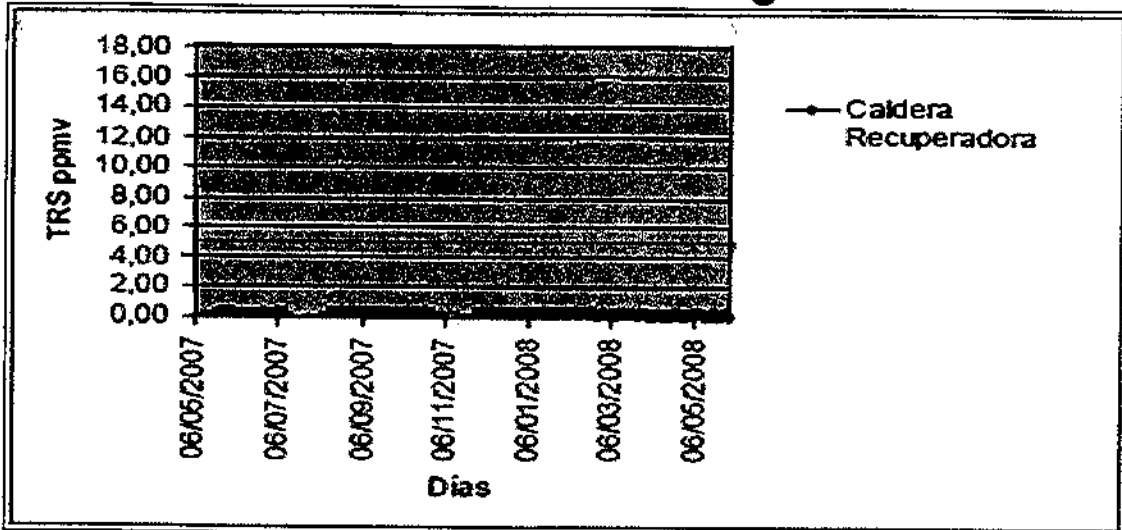


Figura 21-19: Monitoreo de las emisiones de TRS del de la caldera recuperadora de planta Nueva Aldea durante el periodo 2007-2008.

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.

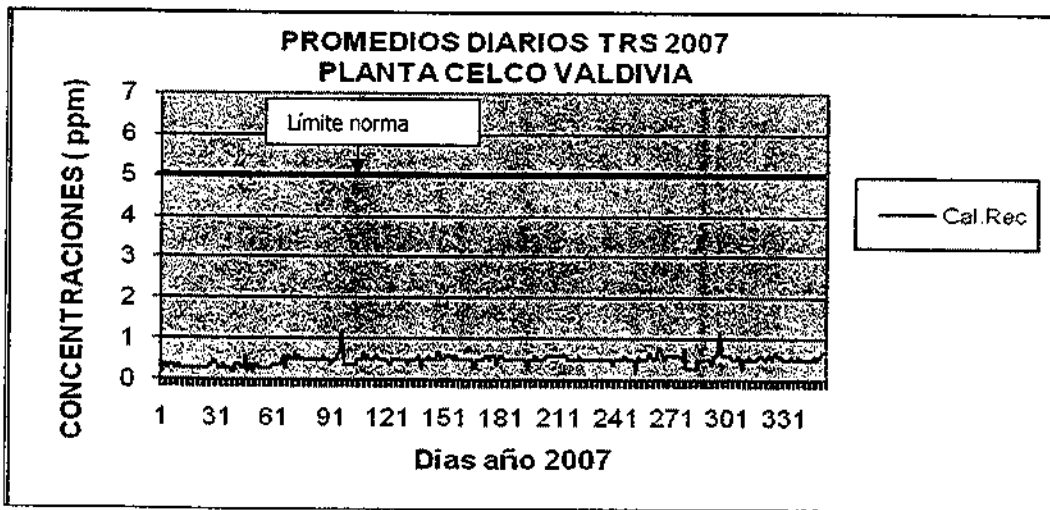
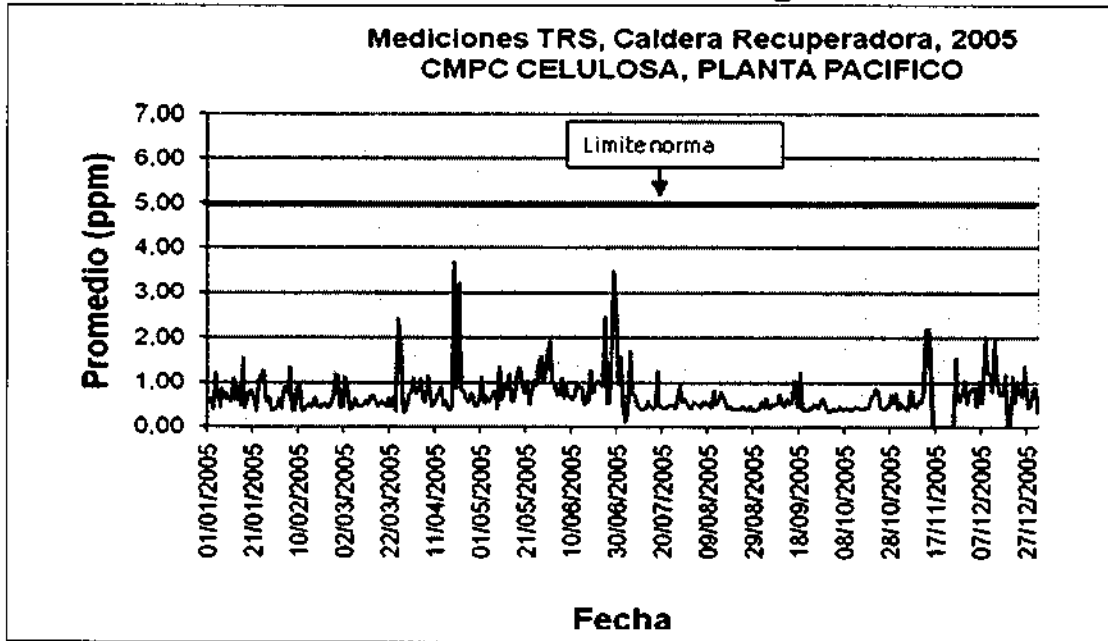


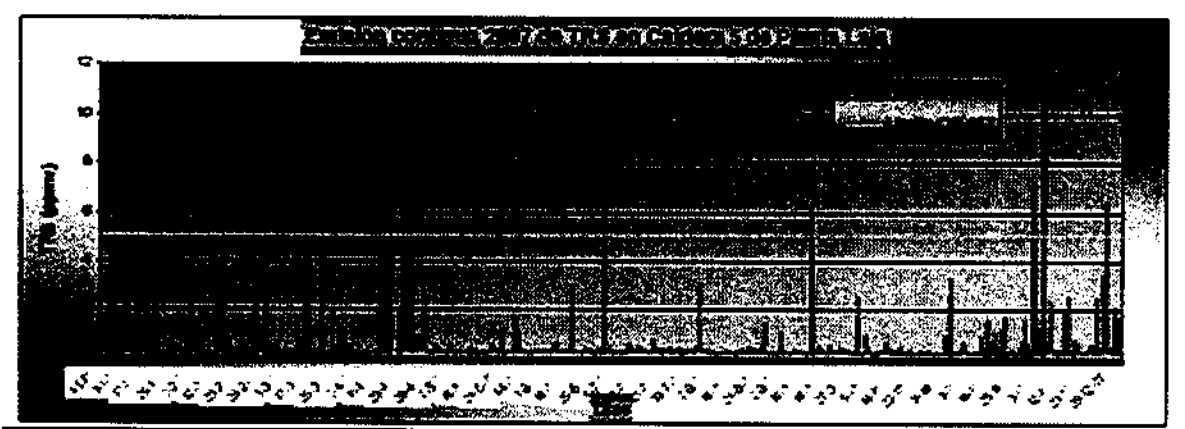
Figura 21-20: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de planta Valdivia durante el periodo 2007.

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S 167/99.



**Figura 21-21: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de planta Pacifico durante el periodo 2005.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S N°167/99.

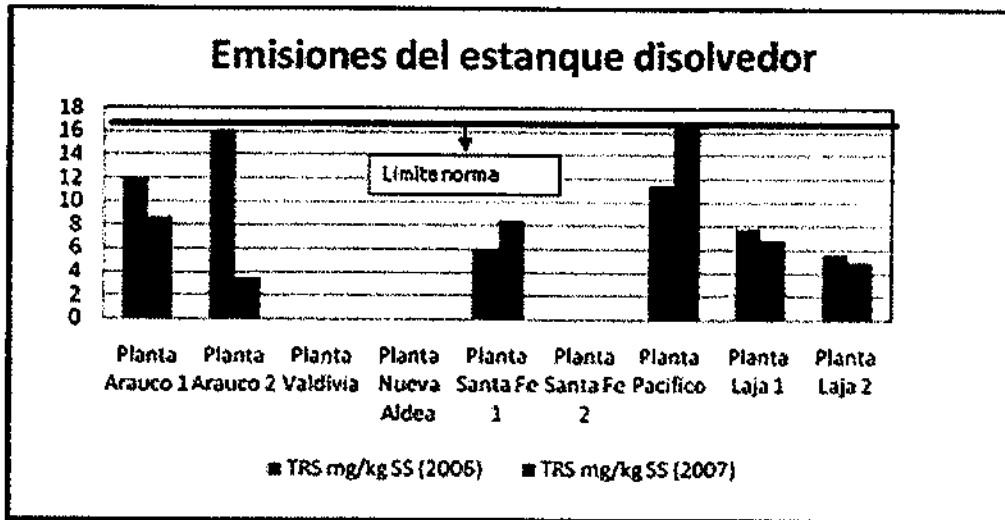


**Figura 21-22: Monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora N°5 de planta Laja durante el periodo 2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S N°167/99.

Al observar el monitoreo de las emisiones de TRS de la caldera recuperadora de distintas plantas de celulosa, se verifica que existe holgura en el cumplimiento de la norma en el periodo anual, sin embargo en algunos casos se presentan eventos por pequeños periodos en que se supera el límite como se ilustra para 2 casos, en las Figura 21-18 y Figura 21-22.

### 21.11.3. Visualización de las emisiones para distintas plantas de celulosa monitoreadas para el estanque disolvedor.



**Figura 21-23: Monitoreo de las emisiones de TRS del estanque disolvedor de diferentes plantas durante el periodo 2006-2007.**

Fuente: informe estándar de cumplimiento de D.S N° 167/99.\*Los valores indicados representan el percentil 95 a excepción de el caso de planta pacífico que es el promedio anual.

En figura se observa el comportamiento de las emisiones de TRS del estanque disolvedor para distintas celulosas Chilenas, notando que en las empresas más nuevas estos equipos ya no representan un punto de emisión, ya que son conectados directamente al sistema de recolección de gases. En relación a su cumplimiento de la emisión límite de TRS según el D.S N° 167/99, al parecer no existe problemas, sin embargo es notorio que planta Pacífico y planta Arauco línea 2 están al límite con la norma.

### 21.12. Detalle de las estimación de equipos de monitoreo.

El método de obtención de costos utilizado se informa en el documento "Manual de costos de control de la contaminación en el aire de la EPA (EPA 452/B-02-002). Sección 2, Equipo Genérico y Dispositivos. Capítulo 4, Monitores.

En el método se considera el cálculo de la inversión capital total (TCI) y los costos totales anuales (TAC).

$$TCI = k_1 + (k_2 * A) + (k_3 * B) + (k_4 * C) + (k_5 * D) + (k_6 * E) + (k_7 * F)$$

$$TAC = k_8 + (k_9 * A) + (k_{10} * B) + (k_{11} * C) + (k_{12} * D) + (k_{13} * E) + (k_{14} * F) + CFR * TCI$$

Donde:

$K_1$  a  $k_7$ =Son Coeficientes para calcular el Costo de la inversión de capital, dependiente del compuesto.

$K_8$  a  $k_{14}$ =Son Coeficientes para calcular el Costo total de capital, dependiente del compuesto.

A = Costo por hora del IAC (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

B = Costo por hora del técnico de la planta (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

C = Costo por hora del técnico II de la planta (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

D = Costo por hora del consultor del SMCE (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

E = Costo por hora de la cuadrilla de pruebas (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

F = Costo de equipo

CFR=Factor de recuperación de capital.

Los Valores utilizados para realizar los cálculos se muestran en la Tabla 21-18.

**Tabla 21-18: Parámetros utilizados para el cálculo de los costos del equipo de monitoreo.**

Parámetros para el cálculo de TCI	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
	150,13	368,5	248,1	0	120,8	135	2
Parámetros para el cálculo de TAC	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
	5110	50,8	548,9	0	1,8	113,9	0,2
Otras variables consideradas	A	B	C	D	E	F	CFR
	14	6	6	20	15	16508*	0,117

Fuente: Elaboración Propia. Nota: Las constantes se obtuvieron del "Manual de costos de control de la contaminación en el aire de la EPA (EPA 452/B-02-002). Sección 2, Equipo Genérico y Dispositivos. Capítulo 4, Monitores. Se supuso como compuesto a medir el  $SO_x$ . \*Costo de equipo para Medir TRS (ver anexo 21.13).

## 21.13. Cotización de equipos para medir gases TRS

### 21.13.1. Cotización a SKE.

Señores  
 INGENIERÍA Y SISTEMAS AMBIENTALES  
**Presente**

**Atn : Sr. Sebastian Soto**  
**Ref : TRS y H2S**  
**Fono : (041) 2289398**  
**e-mail : sebastian.soto@dds.cl**

Estimado Sr. Soto:

De acuerdo a lo solicitado anexo nuestra cotización por la venta de un analizador ambiental de Sulfuros Tomates Reducidos (TRS) y analizador H2S.

**Tabla 21-19: Cotización SKE**

Nro Parte	Descripción	Precio
-----------	-------------	--------



046870000	<b>MODEL 101E FLUORESCENT H2S ANALYZER</b>  Incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba Interna</li> <li>• Filtro de Particulado</li> <li>• RANGES: 0-50 ppb to 0-20 ppm</li> <li>• UNIDAD BÁSICA LEE SOLO H2S</li> <li>• CONVERTIDOR DE H2S Y SCRUBBER DE SOX</li> </ul>	US\$ 11.851
047820000	<b>MODEL 102E FLUORESCENT TOTAL REDUCED SULFUR ANALYZER</b>  Incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba Interna</li> <li>• Filtro de Particulado</li> <li>• RANGES: 0 PPB - 50 PPB a 0 PPB - 10,000 PPB</li> <li>• UNIDAD BASICA LEE TRS Y SO2</li> <li>• CONVERTIDOR DE TRS Y SCRUBBER DE SOX</li> </ul>	US\$ 13.757

Fuente: Cotización SKE

**Condiciones comerciales:**

- Precios netos, no incluyen el 19% de IVA
- Precio del Dólar igual al dólar observado del día de entrega del equipo
- Validez de la oferta: 30 días
- Forma de Pago: 50% contado y 50% documentado a 30 días
- Plazo de Entrega: 30 Días de recepcionada conforme la orden de compra, salvo acontecimientos de fuerza mayor
- Lugar de Entrega: Santiago

Esperando que la presente tenga una favorable acogida, le saluda atentamente.

**Felipe Escobar Rodríguez**  
**Ingeniero Civil Ambiental**  
**SK Ecología S.A.**

## Model 101E/102E

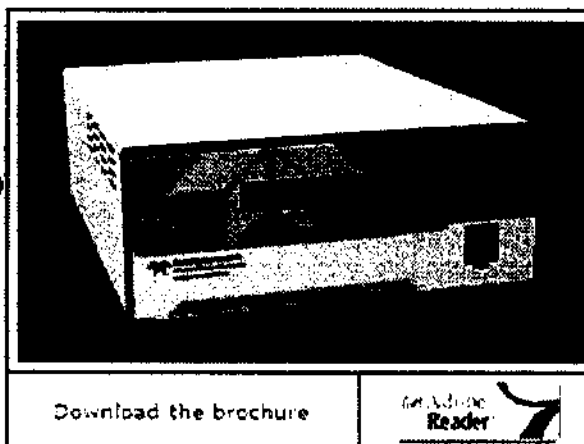
### H<sub>2</sub>S & TRS Analyzers for Ambient Air Quality Monitoring

The Models 101E/102E provide a dependable, accurate and convenient method of measuring hydrogen sulfide or Total Reduced Sulfur (TRS) in levels commonly required for Ambient Air monitoring, offering ranges from 0-50 ppb to 0-10 ppm. Both analyzers convert sulfur gases to sulfur dioxide and measure concentrations using fluorescence technology.

The M101E is equipped with an internally mounted low temperature converter which converts H<sub>2</sub>S at a closely controlled

temperature setting of 315 °C, leaving other gases unaffected. The M102E uses a high temperature converter, mounted externally to the analyzer, and operates at a temperature of 850°C. TRS components (typically, H<sub>2</sub>S, methyl mercaptan, dimethyldisulfide and methyl-disulfide) are all converted to SO<sub>2</sub> at this temperature, with efficiency greater than 98%.

Sample gas drawn into the analyzer first passes through a scrubber which removes all traces of sulfur dioxide. The converter then converts the components of interest to SO<sub>2</sub>. The resulting concentration for SO<sub>2</sub> is then measured by fluorescence. In the basic configuration, the analyzer may be programmed to read H<sub>2</sub>S concentration (101E) or TRS (102E) only. However, a switching option, showing H<sub>2</sub>S/TRS and SO<sub>2</sub> readings alternately, is available. Cycle times may be adjusted, and each reading is truly independent, having its own calibration slope and offset. A sample and hold circuit provides continual analog outputs for each channel. Calibration is simplified by the optional zero and span valves, which allow direct entry of calibration gases, or the optional permeation tube may be used to provide span checks. The analyzers feature auto zero which provides excellent zero stability.



### 21.13.2. Cotización a Ambiente y tecnología.

Santiago, 19 de Junio de 2009

Señores: **DSS**

Atn. Sr. Sebastián Soto

Estimados Señores:

De acuerdo a lo solicitado, nos es muy grato cotizar lo siguiente:

**Tabla 21-20: Cotización AyT**

	<b>Descripción General:</b>	<b>Costo US\$</b>
	El sistema de monitoreo es de tipo extractivo en base seca con dilución, compuesto por los siguientes sub-sistemas: <b>INCLUYE</b>	
1	Sonda de dilución <b>Thermo Scientific</b> modelo PRO902C. Incluye sensor de oxígeno y controlador de sonda.	

1	Cables y tubing de teflón, 50 metros	
1	Módulo de bomba de dos etapas <b>Thermo Scientific</b> modelo SPM102	
1	Módulo limpiador de aire modelo <b>Thermo Scientific</b> modelo ACU209A	
1	<p><b>Caseta para instalación de equipos</b> Módulo transportable metálico autosoportante para instalación de equipos:</p> <p>Construida en base a estructura tridimensional de acero de 3x2m. con compartimiento con acceso exterior para instalación de cilindros de gases de calibración. Interior, alto max. 2,55 m. con pendiente a un agua, soldadura tipo Mig, con dispositivos para izamiento y fijación a piso, esmalte color según catálogo, bajo piso imprimante asfáltico, base de piso en placa terciada de 18mm., revestimientos exteriores en plancha acanalada de acero de 1mm., tabiquería interior galvanizada, aislamiento en poliestireno expandido de 60mm., barrera de vapor en polietileno de 0,1mm., revestimiento de piso en carpeta vinílica alto tráfico tipo Tarkett de 2mm., puerta metálica de 80x210cm. Y puerta metálica. Doble de 180x210cm. Con portacandado y picaportes, rasgos y soporte para equipo de aire acondicionado Instalación eléctrica con dos equipos fluorescente de 2 x 20 w, Instalación eléctrica completa de acuerdo a norma SEC Gabinete de Fuerza y señales, con protecciones termomagnéticas y diferencial.</p> <p>Equipo de aire acondicionado <b>LG Electronics</b> o similar de 12.000 BTU instalado, rack de montaje de equipos, con estabilizador de tensión de 3 KVA.</p> <p>Incluye sensor y transmisor de temperatura de la caseta, para alertar sobre posibles fallas en el equipo de aire acondicionado.</p>	
1	<p><b>Monitor de TRS.</b> Incluye 1) Analizador de SO2 ambiental <b>Thermo Scientific</b> modelo 43i.</p> <p>*Incluye puerto TCP/IP para conexión Ethernet (soporta protocolo MODBUS), RS-235, RS- 485, y software de comunicaciones para diagnóstico remoto *Incluye 10 relés de status y aviso de falla de alimentación.</p> <p>*Incluye 16 entradas digitales.</p> <p>* Incluye memoria Flash para almacenamiento de datos</p> <p>* Rangos: 0-0.05/0.1/0.2/0.5/1/2/5/10/ 20/ 50/ 100 ppm</p> <p>*Límite de detección: 1 ppb</p> <p>*220 VAC, 50 Hz</p> <p>*Salida 4-20 mA</p> <p>2) Horno de oxidación de alta temperatura (900°C) <b>Thermo Scientific</b> modelo <b>TO1000</b>, para montaje en rack</p> <p>3) Scrubber de SO2 <b>Thermo Scientific</b> modelo <b>SCU101DC</b></p>	
1	PLC <b>Allen Bradley</b> , modelo SLC5	
1	Set de cilindros con gases de calibración <b>AGA</b> , 2% precisión analítica, para H2S y Aire Cero con sus respectivos reguladores de dos etapas. La duración dependerá de la frecuencia de las calibraciones	
	Set de repuestos y consumibles para un año	
1	<p>Servicios incluidos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entrega de planos y documentos, manuales de operación</li> <li>2. Pruebas de funcionamiento en nuestras oficinas en Santiago</li> <li>3. Montaje de equipos en terreno</li> <li>4. Capacitación a usuarios.</li> <li>5. Calibración inicial</li> <li>6. Puesta en marcha de la estación en planta</li> </ol>	
		162.440

Fuente: Cotización Ambiente y tecnología.

#### **21.14. Sistema de medición continúa CEMS.**

El principio de funcionamiento del sistema de monitoreo continuo para gases TRS funciona con una sonda que captura la muestra de la chimenea, la cual es transportada hacia el removedor de  $\text{SO}_2$ , posteriormente la muestra de TRS se oxida pasando a  $\text{SO}_2$  para finalmente ser medida y transformada en una variable eléctrica, en el analizador. De lo anterior entonces el proceso de monitoreo continuo se divide en 3 etapas:

- Sonda de muestreo.
- Rack analizador.
- Adquisición de datos.
- Etapa 1: Sonda de muestreo

A través de una sonda instalada en la chimenea del equipo emisor se extrae la muestra de gas con la sustancia a medir (TRS). Junto con la toma de la muestra en esta etapa ocurren otras operaciones como lo son la inyección de gases patrones, mediante los cuales el sistema se auto-calibra, se mide el oxígeno en la muestra a través de un sensor de oxígeno y se inyecta aire de dilución.

- Etapa 2: Rack analizador

En esta etapa ocurre en general todo el proceso de medición de gases TRS, propiamente tal. En primera instancia llegan los gases al sistema Rack donde se extrae el  $\text{SO}_2$  de la muestra mediante un Scrubber de  $\text{SO}_2$ . Luego los gases pasan por un oxidador térmico el cual convierte los gases TRS a  $\text{SO}_2$  (temperatura aproximada de  $900^\circ\text{C}$ ). Finalmente el contenido de  $\text{SO}_2$  se mide mediante fluorescencia Pulsante Ultravioleta (método EPA N° EQSA-0486-060) y se transforma a medición de TRS mediante un algoritmo del equipo que se basa en la estequiometría de combustión del paso de  $\text{SO}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$ .

- ETAPA 3: Adquisición de datos

Luego de realizar la medición de la concentración de gases TRS, la señal se dirige al sistema de adquisición de datos y para así visualizarlos en la sala de control.



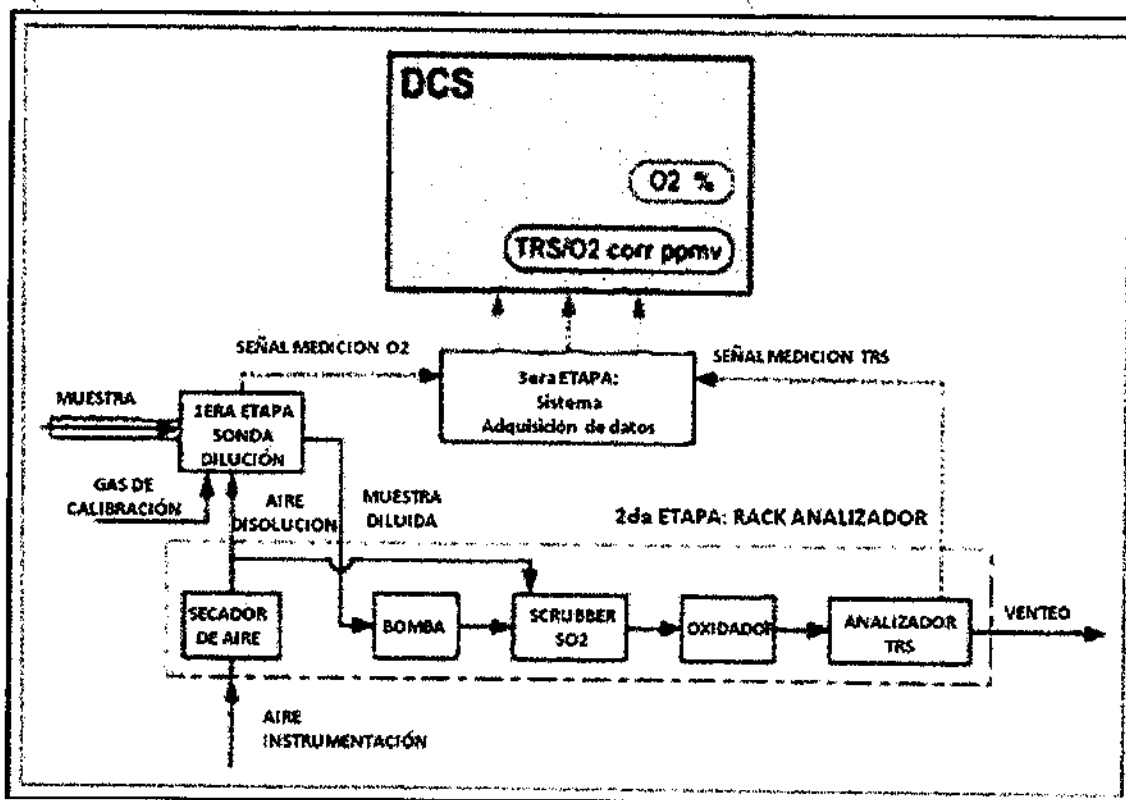


Figura 21-24: Esquema del sistema de monitoreo continuo y automático.

### 21.15. Análisis de límites de emisión

Al recopilar los datos de monitoreo de algunas plantas (datos en planilla Excel entregados por CONAMA) se analiza la medida de implementar un periodo de evaluación mensual sobre el anual que existe en la actualidad para los límites de emisión de gases TRS del Horno de Cal y la caldera recuperadora. Para realizar el análisis se presenta el cálculo del percentil 98 y el percentil 100 en un periodo de evaluación mensual, considerando los promedios diarios del monitoreo a plantas Pacifico (2007-2004), Arauco 2007 y planta Valdivia 2005. A continuación se analiza en Tabla 21-21 y Tabla 21-22 el límite propuesto para el caso de la evaluación del horno de cal.

**Tabla 21-21: Evaluación de percentiles mensuales para las emisiones del horno de cal para Planta Pacífico**

	Pacífico 2007		Pacífico 2006		Pacífico 2005		Pacífico 2004	
	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100
Enero	15,42	17,58	14,19	16,44	12,33	13,36		
Febrero	12,63	13,68	12,24	15,29	19,08	20,84		
Marzo	9,28	9,29	10,64	12,14	16,22	18,09		
Abril	5,75	6,22	16,56	17,71	13,16	15,03		
Mayo	4,72	5,17	14,54	15,41	7,68	9,02		
Junio	4,59	5,34	11,20	12,64	12,23	12,30		
Julio	8,19	8,30	11,27	12,73	11,00	11,18	13,51	19,23
Agosto	6,28	6,54	12,85	13,54	8,71	8,84	18,01	18,33
Septiembre	11,64	12,15	11,92	12,06	9,13	10,55	11,62	11,99
Octubre	8,62	9,64	13,17	14,43	9,83	11,16	9,75	11,99
Noviembre	10,87	11,31	11,75	12,28	7,12	7,44	12,44	12,64
Diciembre	11,27	11,31	14,67	14,98	14,19	16,44	11,23	11,61

Fuente: Elaboración Propia. En base al límite de 15 ppmv propuesto, se observa en amarillo los periodos superados evaluando percentil 100 y en gris el percentil 98.

**Tabla 21-22: Evaluación de percentiles mensuales para las emisiones del horno de cal para planta Valdivia y Arauco**

	Valdivia 2005		Arauco 2007	
	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100
Enero	8,17	9,74	0,00	0,00
Febrero	12,21	17,11	1,58	1,64
Marzo	12,63	12,82	2,11	2,19
Abril	13,59	15,34	2,66	3,17
Mayo	18,84	23,42	1,94	2,02
Junio	12,55	15,59	2,17	2,34
Julio	15,91	16	0,00	0,00
Agosto	16,53	16,75	2,27	4,88
Septiembre	11,16	11,84	2,34	2,81
Octubre	6,73	10,19	3,31	3,37
Noviembre	11,30	11,38	3,09	5,51
Diciembre	11,36	12,05	1,93	2,37

Fuente: Elaboración Propia. En base al límite de 15 ppmv propuesto, se observa en amarillo los periodos superados evaluando percentil 100 y en gris el percentil 98.

Como se observa de la Tabla 21-21 y Tabla 21-22, es superado el límite de emisión considerando la evaluación del percentil 98 (equivale a que se puede exceder solo 1 día al mes) y percentil 100, lo cual con las medidas propuestas para el horno de cal esto debería solucionarse.

Por otro lado para el caso de la caldera recuperadora se analiza en la Tabla 21-23 y Tabla 21-24 para la evaluación del mensual.

**Tabla 21-23: Evaluación de percentiles mensuales para las emisiones de la caldera recuperadora para Planta Pacifico**

	Pacifico 2007		Pacifico 2006		Pacifico 2005		Pacifico 2004	
	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100
Enero								
Febrero	1,09	1,66	1,74	1,80	1,25	1,53		0,00
Marzo	1,04	1,11	1,79	1,87	1,17	1,31		0,00
Abril	1,01	2,83	1,90	1,93	1,95	2,41		0,00
Mayo	1,01	1,23	1,70	1,91	3,22	3,68		0,00
Junio	0,65	1,84	2,16	2,20	1,60	1,93		0,00
Julio	0,64	1,20	1,01	1,73	2,77	3,47		0,00
Agosto	0,67	0,74	0,85	0,86	1,58	1,70	2,67	4,61
Septiembre	0,53	0,54	1,25	4,14	0,78	0,83	3,17	3,60
Octubre	0,54	0,57	0,78	0,80	1,03	1,24	1,26	1,45
Noviembre	0,98	1,00	0,57	0,58	0,79	0,88	2,30	3,10
Diciembre	0,71	0,80	0,96	1,16	2,17	2,18	2,07	2,30
	0,79	2,42	1,42	1,50	1,97	2,03	1,37	3,26

Fuente: Elaboración Propia. En base al límite de 5 ppmv propuesto, se observa en amarillo los periodos superados evaluando percentil 100 y en gris el percentil 98.

**Tabla 21-24: Evaluación de percentiles mensuales para las emisiones de la caldera recuperadora para planta Valdivia y Arauco**

	Valdivia 2005		Arauco 2007	
	Percentil 98	Percentil 100	Percentil 98	Percentil 100
Enero	0,00	0,53	0,31	0,31
Febrero	1,36	2,91	0,30	0,37
Marzo	1,88	3,91	0,32	0,42
Abril	1,64	1,87	0,29	0,3
Mayo	2,05	2,18	0,30	0,31
Junio	1,46	1,59	0,35	0,36
Julio	0,00	0,00	0,32	0,35
Agosto	1,66	1,88	0,31	0,34
Septiembre	6,60	46,73	0,31	0,33
Octubre	2,08	819,23	0,28	0,28
Noviembre	1,94	2,38	0,36	0,37
Diciembre	2,45	2,75	0,34	0,36

Fuente: Elaboración Propia. En base al límite de 5 ppmv propuesto, se observa en amarillo los periodos superados evaluando percentil 100 y en gris el percentil 98.

Como se observa de la Tabla 21-23 y Tabla 21-24, es superado el límite de emisión en el caso de planta Valdivia considerando la evaluación del percentil 98 (equivale que se puede exceder solo 1 día al mes) y percentil 100.

## 21.16. Detalle de evaluación económica de beneficios

**Tabla 21-25: Evaluación económica de beneficios considerando la metodología de disponibilidad a pagar**

Basado Campos et al 2001	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	CAN MMU\$	CAE MMU\$ /año
Rangos US\$/Año/hab	N° de hab	130062	130642	131183	131748	132217	132696	133185	133648	134124	134692	135196	13570	13620	13670	13721	13771	13821	13872	13922	13972	14023		
76,8	MMU\$	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6	10,6	10,7	10,7	10,8	91,50	8,0
74,0	MMU\$	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	9,8	9,9	9,9	9,9	10,0	10,0	10,0	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4	10,4	88,22	7,7
Basado Batalhone et al 2002	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rangos US\$/Año/hab	N° de hab	130062	130642	131183	131748	132217	132696	133185	133648	134124	134692	135196	13570	13620	13670	13721	13771	13821	13872	13922	13972	14023		
152	MMU\$	0	0	0	0	20,1	20,2	20,2	20,3	20,4	20,5	20,5	20,6	20,7	20,8	20,8	20,9	21,0	21,1	21,1	21,2	21,3	181,05	15,8
59	MMU\$	0	0	0	0	7,75	7,78	7,81	7,84	7,87	7,90	7,93	7,96	7,99	8,02	8,05	8,08	8,11	8,14	8,17	8,19	8,22	69,91	6,1

Fuente: Elaboración propia, 2009

**Tabla 21-26: Evaluación económica de beneficios considerando la metodología de precios hedónicos.**

Basado Mardones et al 2006	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	CAN MMU\$	CAE MMU\$ /año
Rangos US\$/vivienda	N° de viviendas	38819	38988	39145	39310	39446	399	143	134	138	166	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	28,0
8639	MMU\$	0,0	0,0	0,0	0,0	340,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	279,95	24,4
1579	MMU\$	0,0	0,0	0,0	0,0	62,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	51,17	4,5
Basado Kontogianni et al 2001	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Rangos US\$/vivienda	N° de viviendas	38819	38988	39145	39310	39446	139	143	134	138	166	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	28,0
9907	MMU\$	0	0	0	0	390,8	1,4	1,4	1,3	1,4	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	321,04	28,0
4624	MMU\$	0	0	0	0	182,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	149,84	13,1

Fuente: Elaboración propia, 2009