

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS
PARA LA FABRICACIÓN DE ENVASES DE
VIDRIO EN EL PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

JORGE LUIS SANDOVAL SULCA

Callao, agosto, 2014

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN conformado por los siguientes Docentes Ordinarios.

Mg. Luis Americo Carrasco Venegas	:	Presidente
Ing. José Angel Porlles Loarte	:	Secretario
Ing. Carmen Gilda Avelino Carhuaricra	:	Vocal
Ing. Raymundo Maximo Carranza Noriega	:	Asesor

Tal como está asentado en el libro de actas de sustentación de tesis N° 02 Folio N° 62 Acta N° 245, de fecha ocho de Agosto de 2014, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación con Sustentación de Tesis, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011.

DEDICATORIA

**A mis abuelitos, que desde el
cielo me guían, a mi madre,
mis hijos y mi familia.**

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, a mi madre por su gran amor y constante apoyo.

A mi asesor el Ing. Raymundo Carranza Noriega por su estrecha y valiosa colaboración en la realización de este trabajo de investigación; a los docentes de mi Alma Mater por la formación académica y profesional recibida a lo largo de mis estudios universitarios.

De manera muy especial al Ing. José Andonaire Rodríguez y a su esposa la Lic. Carolina Zelada Asmat de la empresa WA Quality, por la guía, consejos y conocimientos brindados en mi formación post universitaria en el área ambiental.

Agradezco también a mis amigos, compañeros de trabajo que tuvieron a bien involucrarse en la elaboración de ésta tesis.

INDICE

TABLAS DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1 Identificación del problema.....	14
1.2 Formulación del problema	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Sub problema	17
1.3 Objetivos de la investigación	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación.....	18
1.5 Importancia	19
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.1.1 Documentos de referencia	20

2.1.2 Guías tecnológicas	22
2.2 El vidrio como material de envasado	24
2.3 Ciclo de la vida de los envases de vidrio	25
2.4 Proceso de fabricación de envases de vidrio	28
2.4.1 Preparación de materias primas	29
2.4.2 La fusión	32
2.4.3 El formado	35
2.4.4 Procesos secundarios y de acabado	38
2.5 Fuentes de generación de emisiones en la industria del vidrio	40
2.5.1 Emisiones en la preparación de materias primas	41
2.5.2 Emisiones en la fusión	42
2.5.3 Emisiones en el formato	43
2.5.4 Emisiones en el recocido	43
2.5.5 Emisiones en el acabado	43
2.5.6 Emisiones en la inspección y el ensayo	44
2.5.7 Emisiones en la molienda de scrap	44
2.6 Definición de términos	44

III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	46
3.1 Variables de la investigación.....	46
3.1.1 Variables independientes	46
3.1.2 Variables dependiente	46
3.2 Hipótesis general	46
IV. METODOLOGÍA	47
4.1 Tipo de investigación	47
4.2 Diseño de la investigación	47
4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
4.4 Procesamiento y análisis de información	48
4.4.1 Estudio del ciclo de vida de los envases de vidrio.....	48
4.4.2 Determinación de aspectos e impacto ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio	51
4.4.3 Análisis de aspectos ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio.....	55
4.4.4 Evaluación de aspectos ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio.....	58

4.5 Descripción de las técnicas más utilizadas para la fabricación de envases de vidrio	65
4.5.1 Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas	66
4.5.2 Etapa: La fusión	69
4.6 Aplicación de tecnologías limpias para la fabricación de envase de vidrio.....	77
4.6.1 Mejores técnicas para reducir las emisiones de material particulado	77
4.6.2 Mejores técnicas para reducir las emisiones de NO _x	83
4.6.3 Mejores técnicas usadas para reducir las emisiones de SO _x , HCl y HF	90
V. RESULTADOS	92
VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
VII CONCLUSIONES	100
VIII. RECOMENDACIONES	102
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
X. ANEXOS	107

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.1 Balance de masa y energía en la fabricación de envases.....	16
FIGURA N° 2.1 Visualización de las etapas del ciclo de vida de un producto.....	26
FIGURA N° 2.2 Reciclado integral del vidrio	27
FIGURA N° 2.3 Proceso de fabricación de envases de vidrio	28
FIGURA N° 2.4 Formado automático de botellas	37
FIGURA N° 4.1 Análisis del ciclo de vida de los envases de vidrio	48

LISTA DE GRÁFICOS

GRAFICO N° 2.1 Tasa (%) de utilización de la capacidad instalada	21
GRAFICO N° 2.2 Materias primas para la fabricación de envases de vidrio	32
GRAFICO N° 2.3 Emisiones en la producción de vidrio	40
GRAFICO N° 4.1 Aspectos e impactos ambientales en la recepción, mezcla	52
GRAFICO N° 4.2 Aspectos e impactos ambientales en la fusión.....	53
GRAFICO N° 4.3 Aspectos e impactos ambientales en el formado, recocido	54
GRAFICO N° 4.4 Aspectos e impactos ambientales en la inspección.....	55

LISTA DE TABLAS

TABLA N° 2.1 Composición típica de envases de vidrio	29
TABLA N° 2.2 Refinantes utilizados en la producción de vidrio	30
TABLA N° 2.3 Elementos utilizados en la coloración del vidrio	31
TABLA N° 3.1 Descripción de las variables	46
TABLA N° 4.1 Aspectos e impactos en el ciclo de vida del vidrio	49
TABLA N° 4.2 Valoración de aspectos ambientales en el ciclo de vida	50
TABLA N° 4.3 Análisis de aspectos ambientales en la fabricación de envases.....	56
TABLA N° 4.4 Entradas y salidas de una planta de fabricación de envases.....	60
TABLA N° 4.5 Relevancia ambiental en la recepción, mezcla y dosificación	61
TABLA N° 4.6 Relevancia ambiental en la fusión	62
TABLA N° 4.7 Relevancia ambiental en el formado, recocido y acabado	63
TABLA N° 4.8 Relevancia ambiental en la inspección, embalaje y almacenaje	64
TABLA N° 4.9 Almacenamiento de sólidos polvorientos en silos cerrados.....	66
TABLA N° 4.10 Almacenamiento de materias primas auxiliares	67
TABLA N° 4.11 Encapsulamiento de cintas transportadoras.....	68
TABLA N° 4.12 Acondicionado de la zona de alimentación.....	68
TABLA N° 4.13 Hornos regenerativos	69
TABLA N° 4.14 Hornos recuperativos	70
TABLA N° 4.15 Aumento del porcentaje de vidrio reciclado	71
TABLA N° 4.16 Uso de energía eléctrica como aporte para la fusión	72
TABLA N° 4.17 Cambios en el diseño de los hornos.....	72
TABLA N° 4.18 Condiciones de la llama	73

TABLA N° 4.19 Posicionamiento de los quemadores	74
TABLA N° 4.20 Uso de gas natural en sustitución del diesel	74
TABLA N° 4.21 Reducción de la relación aire-gas a niveles estequiométricos	75
TABLA N° 4.22 Sellada de las paredes del horno.....	75
TABLA N° 4.23 Quemadores de baja emisión de NO _x	76
TABLA N° 4.24 Uso de materiales refractarios de elevada eficiencia	76
TABLA N° 4.25 Medidas primarias para la reducción de partículas.....	78
TABLA N° 4.26 Precipitador electrostático	79
TABLA N° 4.27 Filtro de mangas	81
TABLA N° 4.28 Medidas primarias para la reducción de NO _x	83
TABLA N° 4.29 Oxidación.....	85
TABLA N° 4.30 3R (Reducción y reducción en los regeneradores)	86
TABLA N° 4.31 SCR (Reducción selectiva con catalizador)	88
TABLA N° 4.32 Lavador por vía seca o semihúmeda.....	90
TABLA N° 5.1 Niveles de emisiones alcanzados con la implantación.....	92
TABLA N° 5.2 Reducción de emisiones para varias tecnologías.	93
TABLA N° 5.3 Niveles de emisión asociados a MTD	94
TABLA N° 5.4 Efectos de la oxidación en las emisiones atmosféricas	95
TABLA N° 5.5 Efectos de otras tecnologías en las emisiones atmosféricas.....	95
TABLA N° 6.1 Comparación de los valores obtenidos para las emisiones.....	97
TABLA N° 6.2 Criterios de valoración	98
TABLA N° 6.3 Valoración de las técnicas utilizadas	99

RESUMEN

Hace algunos años cuando realizaba labores de monitoreo ambiental en plantas para la fabricación de envases de vidrio, pude percibir la presencia de un material particulado que se acumulaba dentro y fuera de las instalaciones, esto conllevó a interesarme por saber ¿De donde provenían? ¿Cómo se generaban? ¿Será nocivo para la salud de las personas?

En una investigación preliminar, determiné que las materias primas que se utilizan en este proceso (principalmente silicatos), se volatilizan generando partículas de sílice cristalinas y según la OIT, existe una pandemia oculta, millones de trabajadores siguen corriendo el riesgo de contraer neumoconiosis debido a la exposición al sílice, carbón y asbesto.

Con ésta base me dediqué a investigar acerca de la existencia de alternativas tecnológicas limpias, que permitan el control de los efectos ambientales adversos promoviendo un desarrollo industrial sostenible, mejorando nuestra calidad de vida.

La tesis recogió una serie de alternativas tecnológicas limpias aplicables a la fabricación de envases de vidrio, basándose en las que actualmente existen en varios países del mundo; para ello inicialmente se realizó la determinación, análisis y evaluación de los aspectos e impactos ambientales asociados a las diferentes etapas del proceso. Seguidamente se describió cada una de las mejores técnicas utilizadas para la reducción de estos. Finalmente se revisó su aplicabilidad, ventajas, desventajas y los resultados obtenidos en la industria del vidrio.

ABSTRACT

Some years ago while conducting environmental monitoring work in plants for the manufacture of glass , I could sense the presence of a particulate material accumulated inside and outside the premises , this led to interest me to know where do they come from? How do you generate? Will it be harmful to the health of people?

In preliminary research, I determined that the raw materials used in this process (mainly silicates), volatilize generating particles of crystalline silica and according to the OIT, there is a hidden pandemic, millions of workers remain at risk of contracting pneumoconiosis due to exposure to silica, coal and asbestos.

With this basis I devoted to investigate the existence of cleaner technology alternatives that allow the control of the adverse environmental effects promoting sustainable industrial development, improving our quality of life.

The thesis collected a number of clean technology alternatives applicable to the manufacture of glass containers, based on currently existing in several countries; for that initially the identification, analysis and evaluation of environmental aspects and impacts associated with the different stages of the process was performed. Described below to each of the best techniques for reducing these. Finally its applicability, advantages, disadvantages and the results obtained in the glass industry was reviewed.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

Los problemas ambientales globales, principalmente el cambio climático, la pérdida de los recursos naturales, la disminución de los bosques, la crisis del agua, concitan la atención mundial. Según la WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza), calculándose el uso excesivo de los recursos del planeta desde 1970 y considerando el ritmo actual, se prevé que la demanda ejercida en el planeta en el año 2030 será equivalente al consumo de dos planetas tierra.

Por labores de monitoreo y estudios ambientales realizados en diversas plantas para la fabricación de envases de vidrio que operan en la capital del país, logré percibir que algunas de éstas cuentan con procesos tecnológicos desfasados, que no están alineadas con las técnicas actuales de mitigación de emisiones y en algunos casos son insuficientes, conllevando como resultado a una potencial fuente de generación de contaminantes.

Según el Documento BREF de la Comunidad Europea-2004, las emisiones de los hornos contienen diversos productos de combustión como: óxidos de nitrógeno (producido generalmente por la oxidación del nitrógeno atmosférico a temperaturas elevadas), dióxido de azufre, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, partículas de sílice (derivados principalmente de la volatilización de los silicatos) y otros.

Según un estudio realizado por el grupo de investigación del convenio UIS-IDEAM¹, son necesarios 1293.8 Kg de materias primas para producir 1000 Kg de envases de vidrio, evaporándose el 19.76% como gases y polvo. En el caso de Lima, son liberados al ambiente 1038 Kg de CO₂ y 11.8 Kg de SO₂ por cada tonelada de envases de vidrio producido; valores muy elevados comparados con países de la Comunidad Europea y América del Norte (véase la figura N° 1.1, en la página 16).

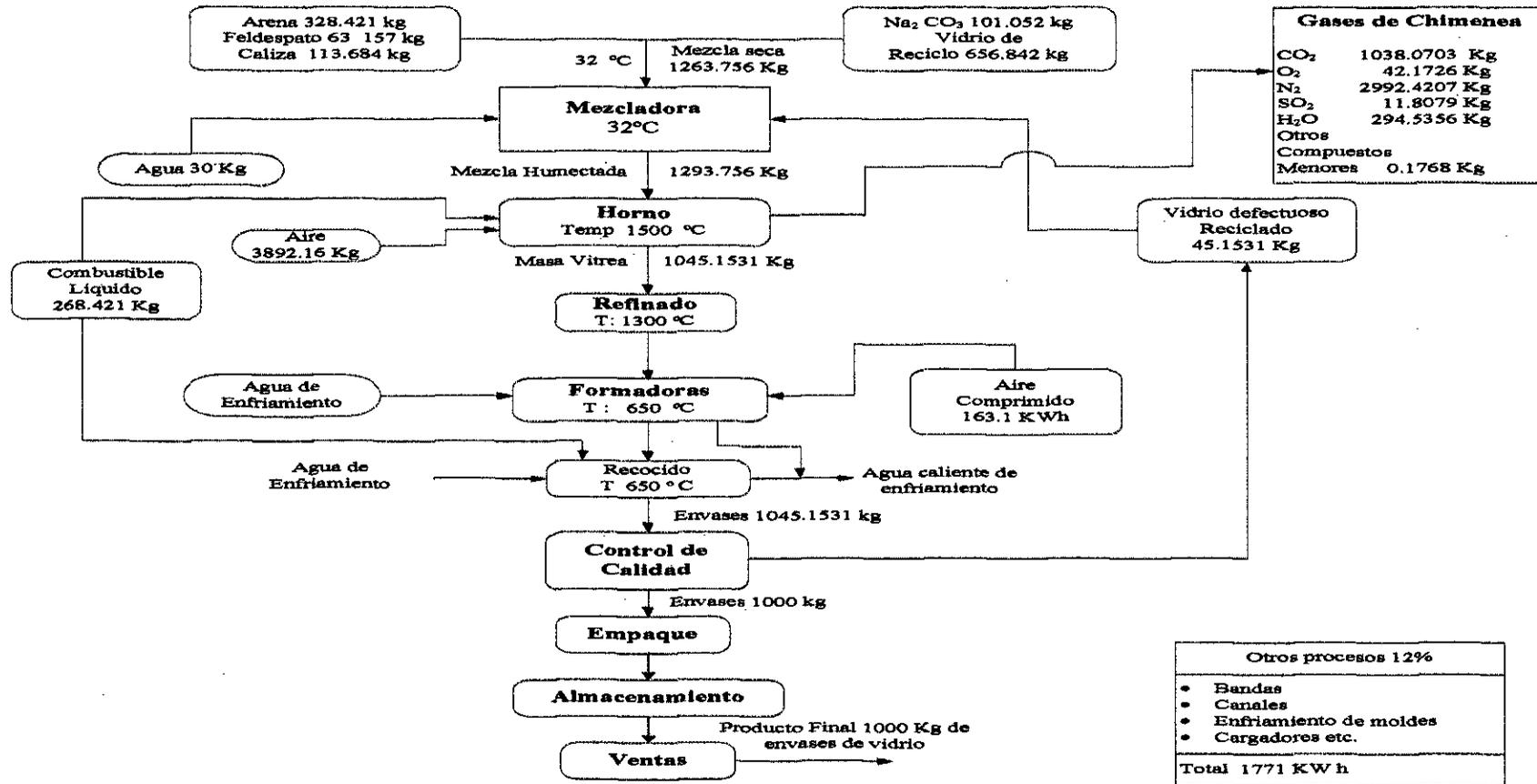
Por otro lado, según la OIT, la exposición a contaminantes como partículas de sílice cristalina sumada a una inadecuada protección puede provocar discapacidad o muerte prematura.

En lo que respecta al ambiente, el impacto es altamente negativo porque estos colaboran en: el efecto invernadero, lluvias ácidas, alteración del ciclo del nitrógeno, contaminación del agua, contaminación del aire entre otros.

Por lo tanto de lo expuesto anteriormente se justifica la necesidad, entre otras medidas, implementar tecnologías limpias.

FIGURA N° 1.1

DIAGRAMA DE FLUJO (BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIOS)



Fuente: Grupo de investigación del convenio UIS-IDEAM¹.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las tecnologías limpias que deben ser aplicadas para la fabricación de envases de vidrio en el Perú?

1.2.2 Sub problemas

- a. ¿Cuáles son las principales fuentes de generación de contaminantes para la fabricación de envases de vidrio?
- b. ¿Cuáles son las alternativas tecnológicas limpias existentes aplicables a la industria de envases de vidrio?
- c. ¿Cuáles son las características de las alternativas tecnológicas limpias aplicables a la industria de envases de vidrio en el Perú?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer las alternativas tecnológicas limpias aplicables a la fabricación de envases de vidrio en el Perú.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Identificar, definir y caracterizar las principales fuentes de generación de contaminantes en la industria de envases de vidrio
- b. Identificar alternativas de tecnologías limpias existentes para la fabricación de envases de vidrio.

- c. Estudiar y evaluar las principales características y ventajas de las alternativas de tecnologías limpias existentes aplicables a la fabricación de envases de vidrio en el Perú.

1.4 Justificación

- a. La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la producción limpia es más efectiva desde el punto de vista económico, y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”.
- b. La normatividad ambiental peruana para la industria del vidrio, aún es insuficiente en materia de control y prevención de la contaminación. No existe un marco legal específico (generalmente se usan ECA y LMP), por tal motivo, es necesario implementar una serie de tecnologías limpias que consideren estándares internacionales válidos en muchos países del mundo.
- c. Beneficia a la industria de los envases de vidrio pues las modificaciones tecnológicas, en algunos casos, pueden aplicarse a distintas partes del proceso y contempla desde cambios simples en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores, que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de producción.
- d. Países de la región como Argentina, Chile y Colombia cuentan con normatividad ambiental en el rubro, así como también cuentan con guías

para el control y la prevención de la contaminación en la industria del vidrio.

1.5 Importancia

Según la Guía de MTD en España- 2007, el proceso de fabricación de envases de vidrio trae consigo la emisión significativa de contaminantes; así también por ser un proceso que demanda un alto uso energético, hace que el consumo de éste sea el principal problema de la industria y el ambiente. Por ello es importante proponer y aplicar una serie de alternativas tecnológicas limpias, recoger la repercusión particular de éstas en la emisión de contaminantes y posteriormente alinearlos a la mega tendencia mundial de desarrollo industrial sostenible.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Documentos de referencia

Según el informe de la Organización Mundial de la salud-2011, en muchas ciudades del mundo la contaminación del aire ha alcanzado niveles muy por encima de los recomendados para preservar la salud de la población.

Los datos estiman que esta situación causa la muerte de más de dos millones de personas anualmente debido a la inhalación de sustancias contaminantes que penetran en los pulmones y llegan al torrente sanguíneo, ocasionando múltiples enfermedades.

En este contexto de 91 países, tan solo 11 cumplen con los niveles recomendados por esta organización (una media anual de partículas que debería ser de 20 microgramos por metro cúbico $-\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los países más afectados en porcentaje de muertes por enfermedades del ambiente son China, India y otros países asiáticos, a lo que se suman un gran número de ciudades africanas.

Por su parte, Latinoamérica se encuentra en niveles intermedios de muertes por contaminación, siendo los países más afectados Bolivia, Perú, Venezuela y Guatemala. Estados Unidos y Canadá, al igual que algunos países de Europa, registran el menor porcentaje.

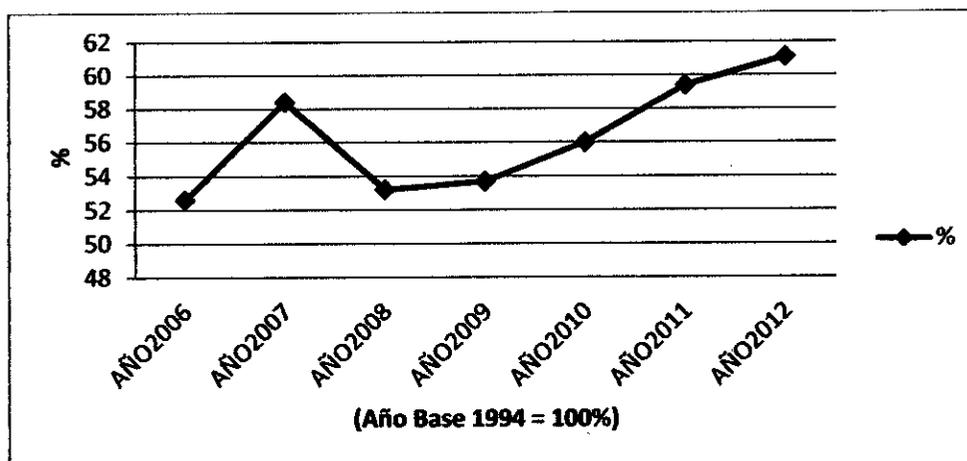
Según el informe de la Organización Mundial de Meteorología-2013, la ciudad de Lima contiene el aire más contaminado de Sudamérica.

En contraste, Eric Concepción, especialista de la Dirección General de Calidad Ambiental del Minam expresó: “la contaminación en la ciudad de Lima ha bajado casi a la mitad en los últimos diez años”, el material particulado PM10 generalmente es menor al LMP (150 ug/m^3); pero aún arrastra muchos problemas que le impiden tener una atmósfera más limpia debido a la gran cantidad de autos antiguos que todavía circulan y las descontroladas actividades industriales (algunas carecen de regulación para sus emisiones a la atmósfera) fuente: publimetro noviembre-2013.

Según la revista estadística mensual del PRODUCE-2013, la tasa de utilización de la capacidad instalada de planta para la industria del vidrio en el Perú el año 2013 fue 61% (véase el gráfico N° 2.1).

GRÁFICO N° 2.1

TASA (%) DE UTILIZACION DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO



Fuente: Adaptado de la revista estadística mensual del PRODUCE-2013.

2.1.2 Guías tecnológicas

Guía de Andalucía España-2011

En esta guía se desarrollan las metodologías para determinar las emisiones características del sector de fabricación de vidrios huecos o de envases, así mismo se realiza un análisis exhaustivo a las distintas metodologías existentes para la determinación de las emisiones o vertidos producidos en las instalaciones, utilizando datos primarios procedentes de medidas, así como también datos característicos de la actividad y factores de emisión a la atmósfera.

Guía de MTD en España-2007

En esta guía, la dirección General de calidad y evaluación Ambiental del Ministerio del Ambiente de España, decidió además de prestar colaboración en los documentos de referencia Europeos-BREF, conocer la realidad de la industria vidriera Española, prestando atención especial a los aspectos ambientales. Asimismo consigue recoger información acerca de la repercusión de las tecnologías en la emisión de contaminantes.

Guía del Gobierno Vasco-2005

En esta guía se realiza un estudio al proceso de fabricación del vidrio, clasificaciones, identificación de contaminantes, evaluación de emisiones así como también métodos de medición de contaminantes atmosféricos.

Documento BREF de la Comunidad Europea-2004

Este documento, elaborado por la comisión Europea, a través de la IPPC (Oficina Europea integrada del control y la prevención de la contaminación) describe los procesos y técnicas utilizados en la fabricación de productos de vidrio, también los aspectos ambientales asociados. Además incorpora un estudio detallado de las mejores técnicas disponibles para la fabricación de productos de vidrio así como también su viabilidad económica en la Unión Europea.

Guía de Vidrios Chile-1999

La comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA), desarrolló esta guía con el objetivo de orientar al sector vidriero en materia ambiental entregándole herramientas de prevención y control de la contaminación y a su vez contribuir a las actividades de fiscalización que realiza la autoridad, optimizando la calidad de las mismas.

Guía del Ministerio de Energía de España-1996

La guía resume el estudio de prospección tecnológica del sector de fabricación de vidrio, la descripción general del proceso productivo, técnicas disponibles para el control de emisiones así como también técnicas emergentes y su aplicabilidad, contemplando las particularidades del sector vidriero español.

Guía Técnica de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994

La agencia de protección ambiental de los EE.UU. realizó una guía la cual cuenta con la descripción del proceso de fabricación del vidrio, alternativas de control de emisiones, discusión del nivel de emisiones y da un mayor énfasis al control e impactos de los óxidos de nitrógeno.

Ahorro de energía en la industria del vidrio en Colombia

Este trabajo de investigación realizado por el grupo de gestión eficiente de energía de la Universidad del Atlántico y el grupo de gestión en energías de la Universidad Autónoma de Occidente describe detalladamente el proceso de fabricación de vidrio, principales técnicas, distribución de los consumos de energía, medidas de ahorro de la misma, mejoras en los hornos de fusión, canales de alimentación, requemadoras, recocido, temple, modificaciones a la combustión y aspectos ambientales generales; todas ellas aplicables a la industria en Colombia.

2.2 El vidrio como material de envasado

Como envase, el vidrio aporta unas cualidades extraordinarias. Es químicamente inerte, aséptico, transparente, moldeable con infinidad de diseños, indeformable, impermeable al paso de los gases, resistente al calor, con la posibilidad de albergar cierres que permitan abrir y cerrar repetidas veces y cien por ciento reciclable. Estas características hacen de este el más universal de los envases sin ninguna contraindicación de uso

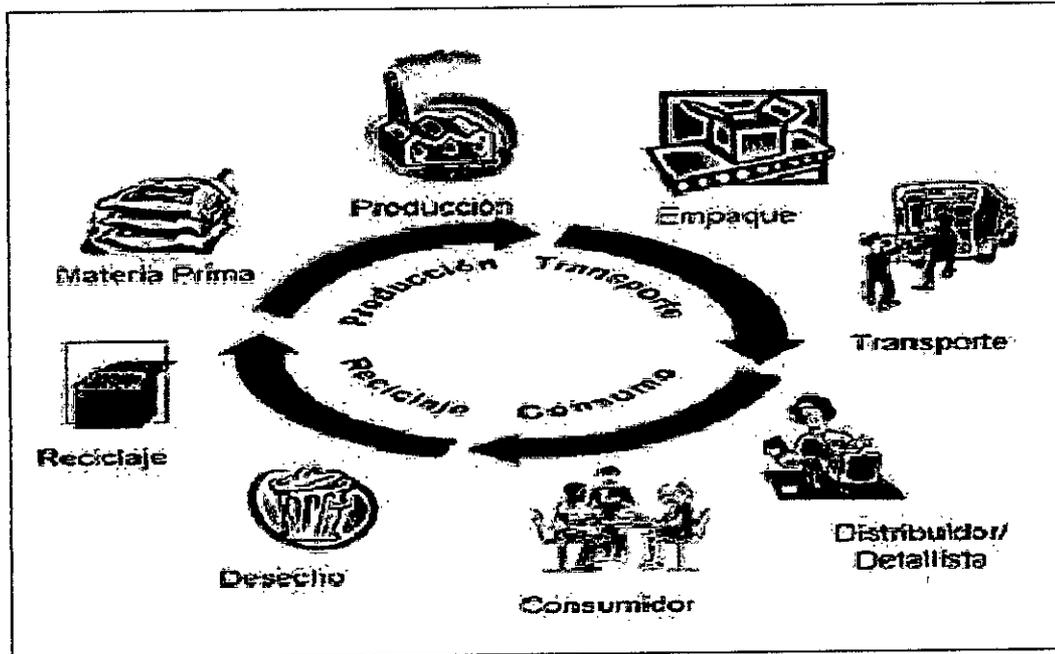
estando presente en la totalidad de sectores y en algunos de ellos en exclusiva. Así, se envasan en vidrio productos neutros como el agua y productos fuertemente ácidos o básicos, desde líquidos sin gas hasta aquellos como las gaseosas y refrescos que mantienen una alta presión interna. Desde el vino, que debe permitir el milagro de su evolución, hasta aquellos que precisan su hermeticidad total. Desde los que se utilizan a diario, hasta los de las grandes ocasiones. De los líquidos más fluidos, hasta los sólidos con mayor densidad, pasando por sustancias pastosas como la mermelada o la miel. A todos ellos el vidrio ofrece sus virtudes como envase y aporta su imagen de prestigio y calidad. Los consumidores lo valoran en todos los estudios de mercado como el envase más próximo al ideal (Anfevi de España-2013).

2.3 Ciclo de vida de los envases de vidrio

Mediante un análisis del ciclo de vida se analizan todos los impactos asociados a un producto, identificando el uso de materia, energía y desechos generados, con el fin de introducir mejoras para reducir dicho impacto (véase la figura N° 2.1, en la página 26).

FIGURA N° 2.1

VISUALIZACIÓN DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO



Fuente: Diapositivas de clases del curso de contaminación ambiental realizadas por la Ing. Sonia Herrera Sánchez.

En el caso particular del ciclo de vida de los envases de vidrio podemos dividirla en:

Extracción de materias primas, este proceso es el primero en interés en cuanto a impacto, ya que genera un daño irreversible en el entorno.

Fabricación de envases de vidrio, las emisiones que se producen por la combustión y la energía que hace falta suministrar por el horno, son el impacto más importante de todo el ciclo de vida del vidrio.

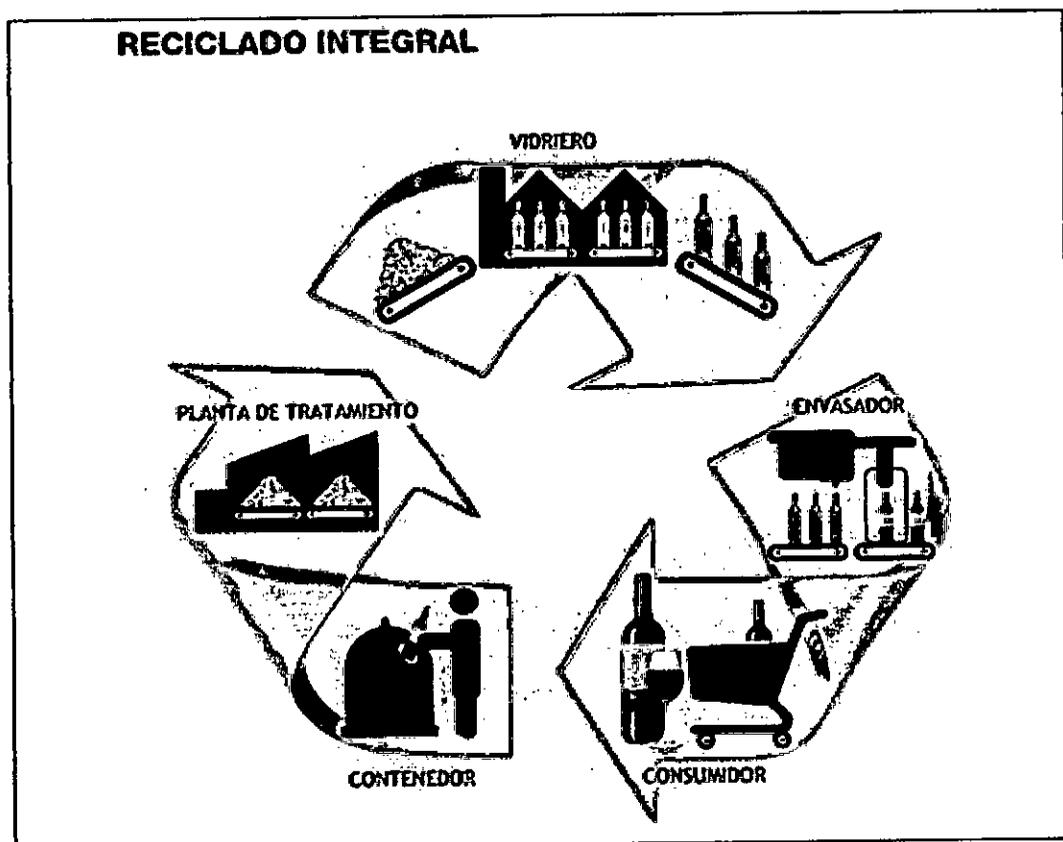
Transporte del vidrio, se realiza a través de vehículos apropiados para evitar rozamiento y posibles pérdidas por rotura.

Uso y reutilización del vidrio, este sistema de retorno de las botellas tiene evidentemente un impacto relativamente pequeño por el lavado con legías y tensoactivos.

Reciclaje del vidrio, es reciclable al 100% y al infinito. Según la Anfevi de España- 2013, un envase usado al reciclarse permite la fabricación de uno nuevo sin pérdida de calidad ni de cantidad y el ciclo puede extenderse hacia el infinito (véase la figura N° 2.2).

FIGURA N° 2.2

RECICLADO INTEGRAL DEL VIDRIO



Fuente: Anfevi de España-2013.

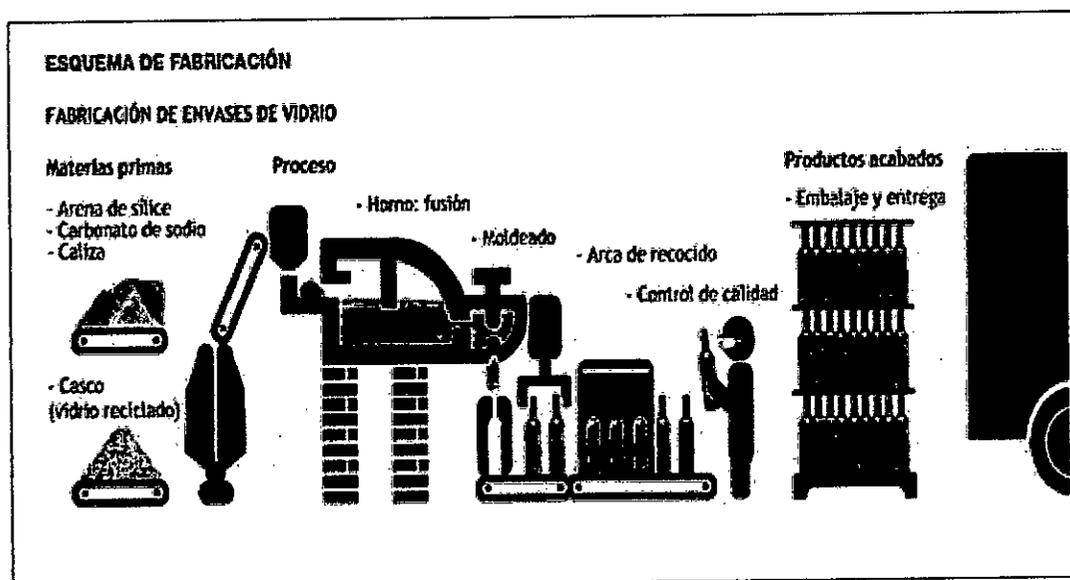
2.4 Proceso de fabricación de envases de vidrio

El proceso de fabricación de envases de vidrio es el mismo para los diferentes tipos y consta básicamente de las siguientes etapas: Preparación de las materias primas, fusión, formado, tratamientos posteriores y, por último, almacenamiento y distribución de los productos finales (Guía de MTD en España-2007).

Según la Anfevi de España-2013, el proceso de fabricación de los envases de vidrio comienza cuando las materias primas (arena de sílice, carbonato de sodio, caliza, componentes secundarios y vidrio reciclado) son fundidas en hornos, a una temperatura de 1500 °C, aproximadamente (véase la figura N° 2.3).

FIGURA N° 2.3

PROCESO DE FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO



Fuente: Anfevi de España-2013.

2.4.1 Preparación de materias primas

a. Materias Primas

Las composiciones típicas (porcentaje en peso de los compuestos químicos) de los envases de vidrio más producidos se muestran a continuación (véase la tabla N° 2.1).

TABLA N° 2.1
COMPOSICIÓN TÍPICA DE ENVASES DE VIDRIO

Compuesto Químico	% en peso
<i>SiO₂</i>	73.0
<i>Al₂O₃</i>	1.4
<i>Fe₂O₃ + Ti₂O</i>	0.1
<i>CaO</i>	10.5
<i>PbO</i>	
<i>MgO</i>	1.6
<i>Na₂O</i>	12.8
<i>K₂O</i>	0.4
<i>SO₃</i>	0.2
F	

Fuente: Tomado de Proceff Chile-1997.

Clasificación

Las materias utilizadas en la fabricación de envases de vidrio se clasifican en:

- **Vitrificantes**, son sustancias que suponen el principal componente y permiten básicamente la creación de la red vítrea: arena de sílice (Anfevi de España-2013).

- **Fundentes**, son componentes que favorecen la formación del vidrio rebajando su temperatura de fusión y facilitando su elaboración: carbonato de sodio (Anfevi de España-2013).
- **Estabilizantes**, son elementos que ayudan a reducir la tendencia a la desvitricación: caliza (Anfevi de España-2013).
- **Componentes secundarios**: refinantes, colorantes, decolorantes, opacitantes, etc. (Anfevi de España-2013).

Según Vidrios Chile-1999, los **refinantes** son productos químicos que se añaden en menor cantidad con la finalidad de eliminar burbujas contenidas en el vidrio fundido (véase la tabla N° 2.2).

TABLA N° 2.2

REFINANTES UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DE VIDRIO

Agente refinante	Dosificación máxima [kg/100kg de vidrio]
Sulfatos (ej. Na_2SO_4) y sulfitos	1.0
Cloruros (ej. $NaCl$)	1.5
Arsénico (ej. As_2O_3)	0.2
Nitrato (ej. $NaNO_3$)	1.5
Oxido de Antimonio (Sb_2O_3)	0.4
Oxido de Cerio (CeO_2)	0.4

Fuente: Tomado de Proceff Chile-1997.

Según Vidrios Chile-1999, los **colorantes** son sustancias químicas empleadas para dar coloración al vidrio o para volverlo incoloro anulando la tonalidad verde, que le es natural (véase la tabla N°2.3, en la página 31).

TABLA N° 2.3

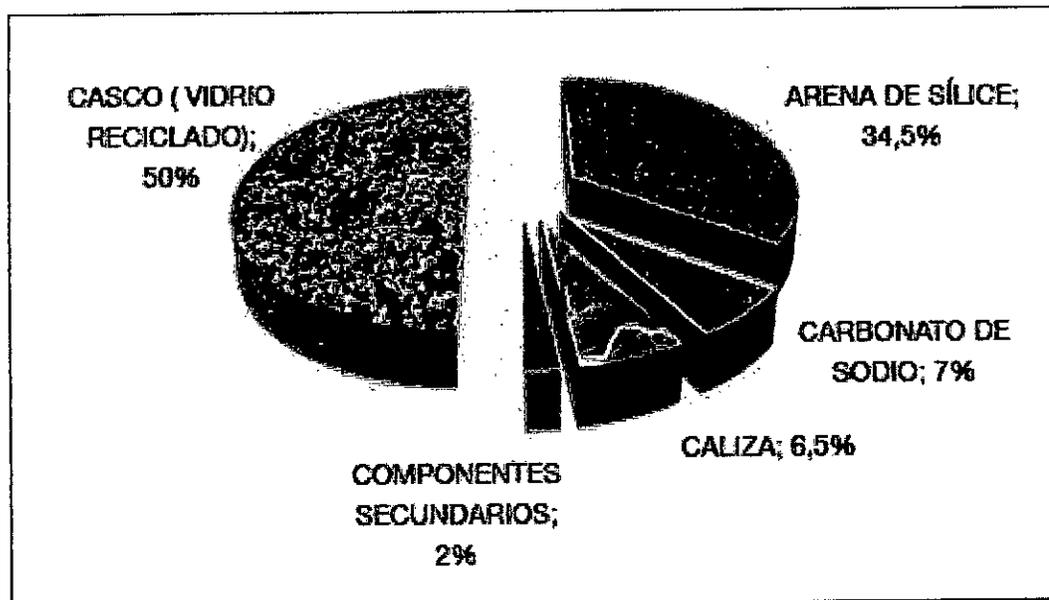
ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA COLORACIÓN DEL VIDRIO

Elemento	Ión	Color
Cobre	Cu	Azul claro
Cromo	Cr ⁺³	Verde
	Cr ⁺⁶	Amarillo
Manganeso	Mn ⁺³	Violeta
Hierro	Fe ⁺³	Amarillo
	Fe ⁺²	Azul
Cobalto	Co ⁺²	Azul puro; en vidrios al boro, rosa
	Co ⁺³	Verde
Níquel	Ni ⁺²	Marrón grisáceo, amarillo, verde, azul a violeta, según la matriz
Vanadio	Va ⁺³	Verde en vidrio al silicato, marrón en vidrio al borato
Titanio	Ti ⁺³	Violeta (fusión en condiciones reductoras)
Neodimio	Nd ⁺³	Violeta rojizo
Selenio	Se	Rosa (también Se ⁺² , Se ⁺⁴ y Se ⁺⁶ , según el tipo de vidrio)

Fuente: Documento BREF de la Comisión Europea, 2004.

- Según la Anfevi de España-2013, el **vidrio reciclado** ha pasado a ser materia prima que ahorra energía al necesitar menos temperatura para fundirse (véase el gráfico N° 2.2, en la página 32).

GRÁFICO N° 2.2
MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACIÓN
DE ENVASES DE VIDRIO



Fuente: Anfevi de España-2013.

2.4.2 La fusión

Según Vidrios Chile-1999, a medida que la arena y la ceniza de soda son recibidas, se muelen y almacenan en depósitos en altura, en espera del momento en que serán transferidas a través de un sistema de alimentación por gravedad a los pesadores y mezcladores. En los mezcladores las materias primas son dosificadas la cual es trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas (batch) donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fusión.

Según la Guía de MTD en España-2007, al entrar la carga al horno a través de los alimentadores, ésta “flota” en la superficie de la masa de vidrio fundida, la cual es sometida a un aumento progresivo de la temperatura por encima de los 1500°C, hasta un máximo de 1600°C, seguido de un período de estabilización en el que la masa vítrea debe alcanzar la rigurosa homogeneidad térmica para luego pasar al frente del baño y eventualmente fluir a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado.

Según Vidrios Chile-1999, en esta operación son utilizados tanto hornos de crisol como de tanque o continuos, dependiendo principalmente de la cantidad de vidrio a producir. En general para la producción en menor escala se utilizan hornos de crisol, mientras que en las de mayor se suelen utilizar hornos continuos.

a. Hornos de crisol

Los hornos de crisol son estructuras construidas de material refractario, resistente a los ataques del vidrio a cualquier temperatura.

Durante el proceso de fundido en crisol, no hay contacto directo entre el horno y el vidrio y en general en el horno se pueden utilizar varios crisoles a la vez.

Los hornos de crisol son utilizados donde los artículos de vidrio son formados manualmente o por soplado a boca.

Un crisol tiene una vida útil de cerca de 30 ciclos pudiendo producir entre 18 y 21 toneladas de vidrio (Vidrios Chile-1999).

b. Hornos de tanque o continuo

Este tipo de horno es utilizado donde es necesario un flujo continuo de vidrio para la alimentación de máquinas automáticas de formado, por su mayor eficiencia en el uso del combustible es empleado principalmente para la producción en gran escala.

Un horno de tanque consiste de una tina (con una capacidad de hasta 2000 toneladas, construida de un material refractario) y de una estructura donde tiene lugar la combustión.

Para alcanzar altas temperaturas de fusión con economía de combustible, son usados sistemas regenerativos y recuperativos, los cuales utilizan los gases de escape para calentar el aire de combustión que ingresa.

Según Vidrios Chile-1999, mientras que en el sistema recuperativo el intercambiador de calor entre el aire y los gases de escape es continuo, en el sistema regenerativo los gases de escape son pasados a través de una gran cámara con bloques de refractarios dispuestos de tal forma que permitan el libre flujo de los gases, siendo la obra de ladrillos calentada por éstos.

Después de aproximadamente 20 minutos, la dirección de los gases es invertida, pasando entonces el aire de combustión por la masa de ladrillos

calientes; aprovechándose de ésta forma el calor recolectado anteriormente para precalentar el aire de combustión.

Petróleos pesados y gas natural son los combustibles normalmente usados en este tipo de hornos. Sin embargo, ya que el vidrio es un conductor eléctrico a alta temperatura, éste puede ser fundido utilizando electricidad (Vidrios Chile-1999).

2.4.3 El formado

Según J.M. Fernández-1991, el comportamiento viscoso-plástico de los vidrios a alta temperatura facilita su moldeado en un amplio intervalo térmico, utilizando para ello diversos procedimientos en función del tipo de envase de vidrio fabricado.

Según la Guía de MTD en España-2007, el proceso de formado se produce a través de moldes de diversos tipos. Aunque depende del producto, en general el grado de automatización de envases de vidrio es muy alto.

El proceso de formado de envases de vidrio se puede realizar mediante: soplado por boca, fabricación automática o semi-automática de botellas y vidrio prensado (Vidrios Chile-1999).

a. Soplado por boca

En la operación, una varilla de hierro hueca o “caña” es sumergida en un crisol que contiene el vidrio fundido, para recoger una porción en la punta por rotación de la caña. El vidrio tomado, es enfriado a cerca de 1000°C y

rotado contra una pieza de hierro para hacer una preforma. Ésta es entonces manipulada para permitir su estiramiento, nuevamente calentada y soplada para que tome una forma semejante a la del artículo que quiere formar, siendo luego colocada en el interior de un molde de hierro o madera y soplada para darle su forma final (Vidrios Chile-1999).

b. Fabricación semi-automática de botellas

Al igual que el soplado a boca, la operación se inicia tomando una porción de vidrio en una varilla, la cual se hace fluir en un molde de preformado hasta que ha entrado una cantidad suficiente, en ese momento el vidrio es cortado con unas tijeras.

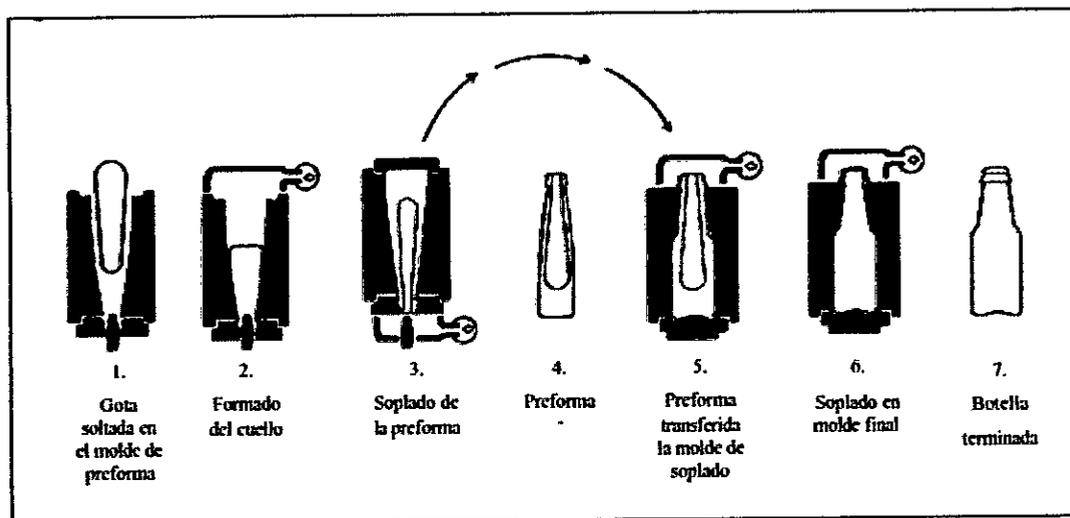
En el fondo del molde de preforma se encuentra un vástago destinado a realizar una abertura en la pieza, por la cual será soplado aire que dará forma al producto. Una bocanada de aire a presión impulsa el vidrio hacia arriba contra las paredes del molde y una placa ubicada en la parte superior, hasta formar una preforma, siendo ésta una botella de paredes gruesas y forma vagamente semejante al producto final. Ésta última es entonces removida y transferida a otro molde, donde nuevamente será soplada hasta adquirir su forma final. El molde es entonces abierto, y la botella removida y colocada en el túnel de recocido (Vidrios Chile-1999).

c. Producción automática de envases

El principio de la producción automática de envases es exactamente el mismo que el descrito anteriormente. Dejándose caer el vidrio en el molde como una gota (véase la figura N° 2.4).

FIGURA N° 2.4

FORMADO AUTOMÁTICO DE BOTELLAS



Fuente: Confederación de fabricantes de vidrio Británicos (BGMC)-1999.

Según la Guía de MTD en España-2007, una característica común de los sistemas automáticos de alimentación es que el vidrio fundido procedente del horno pasa al alimentador a través de un canal de material refractario. Al pasar por estos canales, el vidrio se enfría algunas decenas de grados en su primer tramo y luego sigue avanzando, calentado por una serie de quemadores que lo mantienen a una temperatura constante hasta su descarga en los moldes a través del alimentador de gota. Estos sistemas de alimentación permiten suministrar una serie continua de gotas de vidrio fundido, iguales en peso y en forma entre sí, a la máquina formadora. El

control de la forma, el peso y la velocidad de goteo, dependen de la viscosidad. Por ello, el control de la temperatura debe de ser muy riguroso. El mantenimiento de la temperatura se consigue aportando energía, bien eléctrica (en el caso de producciones especiales), o bien mediante la combustión de gas natural o propano.

d. Vidrio prensado

Un vástago es utilizado para dar forma a la superficie interior del artículo, al empujar el vidrio contra el molde exterior. El prensado puede ser hecho tanto con la ayuda de un operador, como en forma completamente automática.

2.4.4 Procesos secundarios y de acabado

Una vez realizadas las operaciones de formado, los objetos de vidrio obtenidos, pueden pasar a través de una serie de procesos secundarios y de acabados, los cuales pueden ser: el recocido, el templado, el pintado y el decorado (Vidrios Chile-1999).

a. El recocido

El proceso de recocido es utilizado para liberar las tensiones internas, que se producen debido al rápido e irregular enfriamiento de la pieza de vidrio durante la operación de formado.

Para ello la pieza es vuelta a calentar y luego enfriada lentamente.

La operación se realiza utilizando para ello un horno túnel de recocido, que consiste básicamente en una serie de quemadores dispuestos en un horno largo, a través del cual son llevados los envases de vidrio (Vidrios Chile-1999).

b. El templado

Es un tratamiento térmico que permite fortalecer la pieza de vidrio (Vidrios Chile-1999).

c. El pintado

Además de su función decorativa, el pintado es utilizado para darle al vidrio nuevas propiedades físicas, químicas y ópticas (Vidrios Chile-1999).

d. El decorado

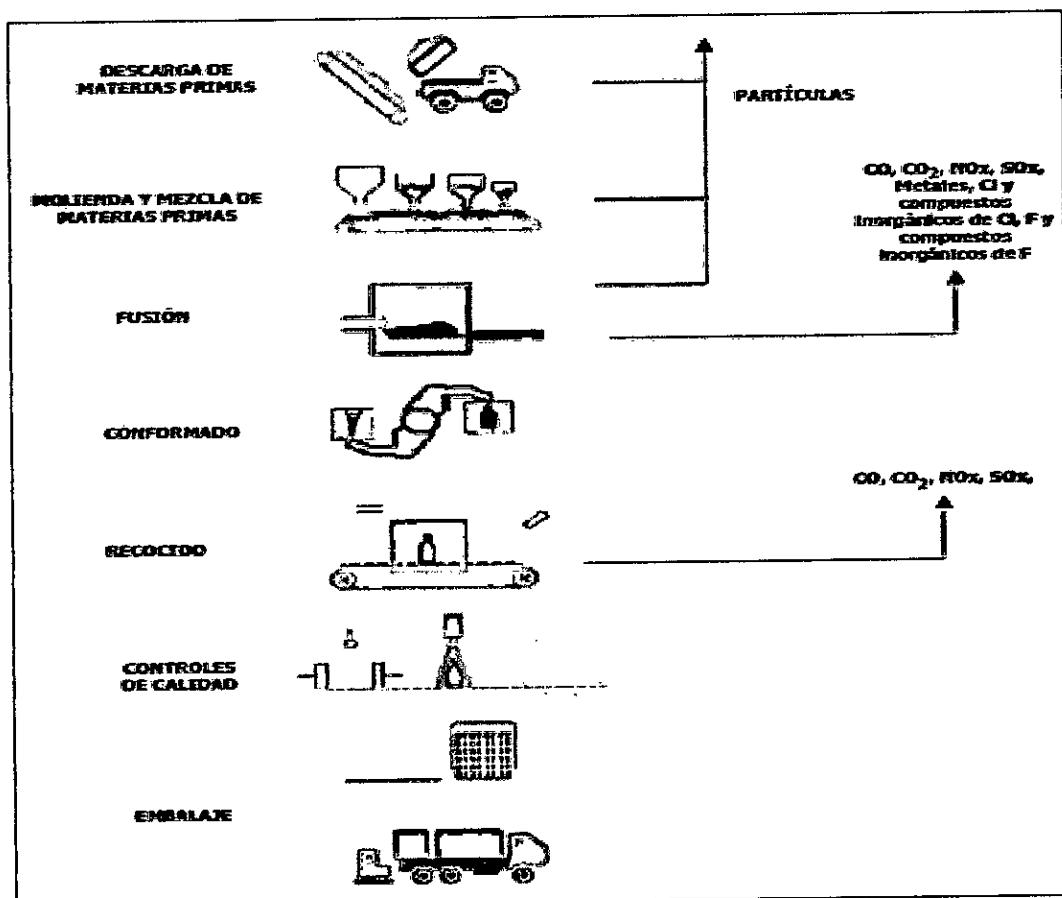
La operación de decorado puede incluir un trabajo mecánico sobre la pieza de vidrio, lo que se hace sacando o añadiendo material de su superficie. También se puede deformar la pieza luego de un previo calentamiento (Vidrios Chile-1999).

2.5 Fuentes de generación de emisiones en la industria del vidrio

A continuación se muestran los distintos tipos de emisión que se van generando a través del proceso de fabricación de envases de vidrio (véase el gráfico N° 2.3).

GRAFICO N° 2.3

EMISIONES EN LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO



Fuente: Guía de Apoyo para la Notificación de Emisiones en la Fabricación de Envases de Vidrio, Andalucía España-2011.

A continuación se detallan las emisiones generadas en cada etapa del proceso productivo.

2.5.1 Emisiones en la preparación de materias primas

Emisiones permanentes

En esta etapa se producen emisiones de material particulado, ocasionadas por manipulación de materias primas de origen mineral finamente molidas.

Se generan residuos sólidos durante las operaciones de recepción de materias primas, como en el traslado de las mismas dentro de la fábrica. Estos se producen en general debido al derrame durante operaciones de manipulación y traslado (Vidrios Chile-1999).

Según la Guía de MTD en España-2007, debido a que generalmente las materias primas se suelen mezclar en seco, no se producen residuos líquidos, aunque en algunas instalaciones; el agua es usada para humidificación.

2.5.2 Emisiones en la fusión

Emisiones permanentes

Durante la operación de fusión de las materias primas es cuando se produce la mayor cantidad de emisiones atmosféricas, estas consisten tanto en material particulado, como de gases, las cuales están asociadas al funcionamiento de los hornos de fundido.

Las emisiones de material particulado son debidas a la volatilización del material contenido en el baño fundido, el cual al combinarse con los gases presentes es emitido en forma condensada. El material particulado puede

contener metales pesados (arsénico, plomo, cadmio, etc.), así como también sílice, dependiendo de las materias primas utilizadas.

Los gases emitidos consisten principalmente de óxidos de nitrógeno NO_x , los que se forman debido a las altas temperaturas alcanzadas en el horno y a la presencia de nitrógeno tanto en el aire de combustión como en las materias primas en fusión. También son emitidos óxidos de sulfuro, SO_x , formado principalmente a partir del azufre contenido el combustible, y en menor medida en las materias primas. Como regla general se puede suponer que todo el nitrógeno y azufre contenido tanto en las materias primas como en el combustible, es emitido en la forma de NO_x y SO_x (Vidrios Chile-1999).

Emisiones ocasionales

Según Vidrios Chile-1999, otro residuo sólido lo constituye la escoria de los hornos, consiste en trozos no usados de vidrio fundido. La escoria está compuesta fundamentalmente de óxido de magnesio y sulfato de sodio, pudiendo contener también metales pesados.

Cuando son cambiados los ladrillos refractarios de los hornos (aproximadamente cada 9 años), también éstos pasan a constituir residuos sólidos del proceso.

2.5.3 Emisiones en el formado

Emisiones permanentes

Durante las operaciones de formado de envases, se producen emisiones de COV y material particulado, producto de la descomposición del lubricante del molde al entrar éste en contacto con la gota de vidrio fundido.

También se producen emisiones gaseosas, al limpiar el molde de su recubrimiento de grafito, lo que se hace aplicándoles 1,1,1 – tricloroetano el que se evapora rápidamente a la atmósfera (Vidrios Chile-1999).

Emisiones ocasionales

Pueden generarse residuos líquidos al contaminarse el agua de enfriamiento de las máquinas de formado con aceite lubricante (Vidrios Chile-1999).

2.5.4 Emisiones en el recocido

Emisiones permanentes

Emisiones de material particulado y gases son generadas como subproducto del procesos de combustión del horno túnel de recocido (Vidrios Chile-1999).

2.5.5 Emisiones en el acabado

Emisiones permanentes

Material particulado y residuos sólidos se generan de los procesos

de acabado con arranque de viruta (pulidos, arenados, esmerilados y otros).

Se genera material particulado y gases en los procesos de esmaltado, donde es necesario el horneado de la pieza.

Se generan emisiones de COV en los procesos de pintado donde se utilizan compuestos orgánicos.

Residuos líquidos pueden ser originados de las operaciones de decorado con ácido (Vidrios Chile-1999).

2.5.6 Emisiones en la inspección y el ensayo

Emisiones permanentes

Se generan residuos sólidos provenientes de las piezas defectuosas (scrap), cuando estas no son recicladas (Vidrios Chile-1999).

2.5.7 Emisiones en la molienda de scrap

Emisiones permanentes

Se generan emisiones de material particulado durante las operaciones de molienda de scrap, la que se realiza en seco (Vidrios Chile-1999).

2.6 Definición de términos

Aspecto ambiental

Son los elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente (ISO 14000, 2004)

Impacto ambiental

Cualquier cambio en el ambiente, ya sea adverso o beneficioso, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios de una organización (ISO14050).

Tecnología limpia

Es la aplicación continua de una estrategia amigable con el medio natural que sea preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el ambiente.

Gas natural

Mezcla de hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, que se encuentra acumulada en yacimientos subterráneos porosos, asociadas o no con el crudo del petróleo.

Fuel Oil

Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada y está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono. Existen diversas clases y entre ellos el más usado es el fuel oil diesel (para hornos, calderas y plantas de generación eléctrica).

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

3.1.1 Variables independientes

- Impacto ambiental.
- Técnicas y tecnologías limpias para la fabricación de envases de vidrio.

3.1.2 Variable dependiente

Aplicación de tecnologías limpias para la fabricación de envases de vidrio.

Para una mejor visualización (véase la tabla N° 3.1).

TABLA N° 3.1

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	TIPO	DIMENSIÓN	INDICADOR
Impacto ambiental	Cualitativo	Determinación, análisis y evaluación	Bajo, medio o alto
Técnicas y tecnologías limpias	Cualitativo	Alternativas existentes	Ventajas, desventajas, aplicabilidad e impacto

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Hipótesis general

Actualmente, varios países del mundo, cuentan con tecnologías limpias usadas para la fabricación de envases de vidrio, algunas probadas a nivel industrial como la oxicomustión, precipitador electrostático, filtro de mangas; y otras en investigación; las cuales representan una serie de alternativas para prevenir, reducir o controlar las emisiones de los principales agentes contaminantes.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

Según Hernández Sampieri y otros-1994, es de **tipo exploratorio** puesto que se examinó nuevos rumbos para la investigación en campos del conocimiento poco estudiados y que no han sido abordados antes en nuestro país.

4.2 Diseño de la investigación

El estudio está diseñado bajo las características de ser tipo prospectivo en razón de que el registro de la información se basa en tecnologías existentes en algunos países del mundo; algunos de ellos probados ampliamente a nivel industrial y otros emergentes que actualmente se encuentran en investigación.

4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Debido a la basta información en el “entorno web”, fue una de las primeras fuentes para la recolección de datos y con el uso de herramientas informáticas, se logró captar un considerable número de fuentes; tales como:

- Portales sectoriales del vidrio y otros.
- Asociaciones y federaciones europeas del vidrio.
- Blogs especializados y páginas web de información especializados.

- Portales estadísticos y boletines informativos del Produce.
- Guías tecnológicas (europeas y americanas), trabajos de investigación, libros virtuales entre otros.
- Asimismo se revisó entrevistas realizadas a diversos especialistas del Minam publicadas en los diarios y revistas relacionadas con el tema entre otros.

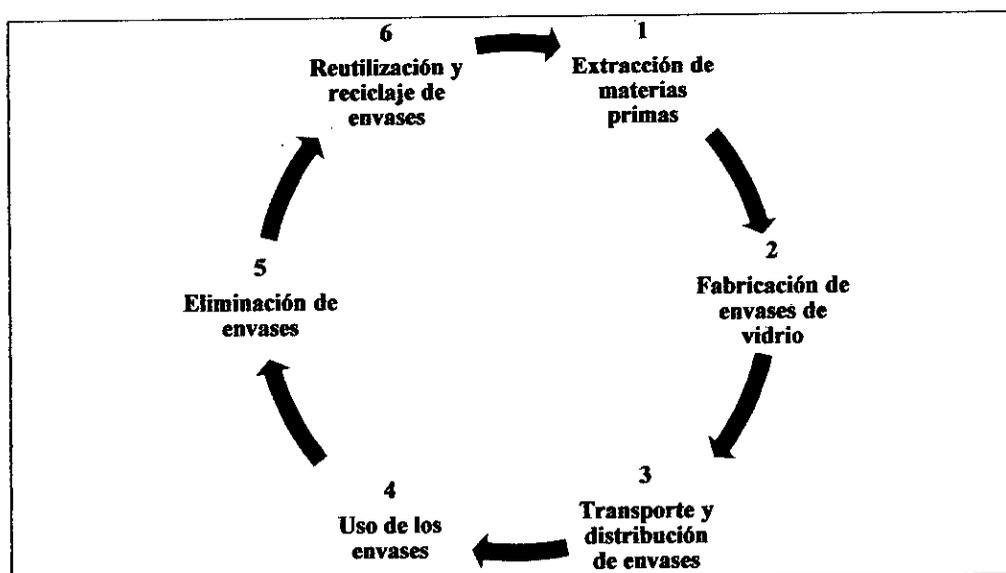
4.4 Procesamiento y análisis de información

4.4.1 Estudio del ciclo de vida de los envases de vidrio

El estudio del ciclo de vida de los envases de vidrio, destinado a mejorar las cargas ambientales, implica analizar su recorrido en el tiempo desde su extracción, producción, consumo y reciclaje (véase la figura N° 4.1).

FIGURA N° 4.1

ANALISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES DE VIDRIO



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los aspectos e impactos ambientales para las diferentes etapas del ciclo de vida de los envases de vidrio, desde la cuna hasta la sepultura (véase la tabla N° 4.1).

TABLA N° 4.1
VISUALIZACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES
EN EL CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES DE VIDRIO

Consumos	Etapas	Aspectos	Impactos
Materias primas	Extracción de materias primas	Emisiones	Impacto visual (paisajístico)
Materias primas, combustible, electricidad, agua	Fabricación de envases de vidrio	Emisiones, efluentes, residuos sólidos, ruido.	Contaminación del aire, agua y suelos.
Combustible	Transporte y distribución de envases	Emisiones	Contaminación del aire
Empaques	Uso de los envases	Residuos sólidos	Contaminación del suelo
Contenedores	Eliminación de envases	Residuos sólidos	Contaminación del suelo
Agua	Reutilización y reciclaje de envases	Efluentes	Contaminación del agua

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se analizan los aspectos ambientales del ciclo de vida de los envases de vidrio, asimismo se valoriza el impacto; A: impacto bajo, B: impacto medio y C: impacto alto (véase la tabla N° 4.2, en la página 50).

TABLA N° 4.2

**ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES
EN EL CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES DE VIDRIO**

Etapa	Aspectos ambientales	Impacto	Sustento
Extracción de materias primas	Consumos Combustible. Emisiones Polvo, partículas, <i>CO, CO₂</i> .	A	Las emisiones de <i>CO, CO₂</i> , se pueden minimizar empleando vehículos a gas natural.
Fabricación de envases de vidrio	Consumos Arena de sílice, carbonatos, combustible, agua, oxígeno Emisiones Partículas, <i>NO_x</i> , <i>SO_x</i> , <i>CO</i> , <i>CO₂</i> , <i>COV</i> . Vertidos Agua Ruido	C	Es la etapa de mayor incidencia ambiental, debido principalmente a las emisiones atmosféricas.
Transporte y distribución de envases	Emisiones <i>CO, CO₂</i> .	A	Las emisiones de <i>CO, CO₂</i> , se pueden minimizar empleando vehículos a gas natural.
Uso de envases	Residuos sólidos Restos de envases rotos, empaques, etc.	A	La gran mayoría de residuos es reciclable.
Eliminación de envases	Residuos sólidos Envases rechazados y rotos.	A	Es 100% reciclable.
Reutilización y reciclaje de envases	Vertidos Lejías y tensoactivos usados para el lavado. Residuos sólidos Envases usados	A	El vidrio es 100% reciclable.

Fuente: Elaboración propia.

La etapa de mayor incidencia ambiental en el ciclo de vida de los envases de vidrio es la de su fabricación, ya que las demás etapas requieren mínimas medidas de control en comparación a ésta (véase la tabla N° 4.2, en la página 50).

4.4.2 Determinación de aspectos e impactos ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio

Para realizar la determinación de los aspectos e impactos asociados a la fabricación de envases de vidrio se va a realizar diagramas de bloques para las diferentes etapas del proceso, considerando las entradas y las salidas.

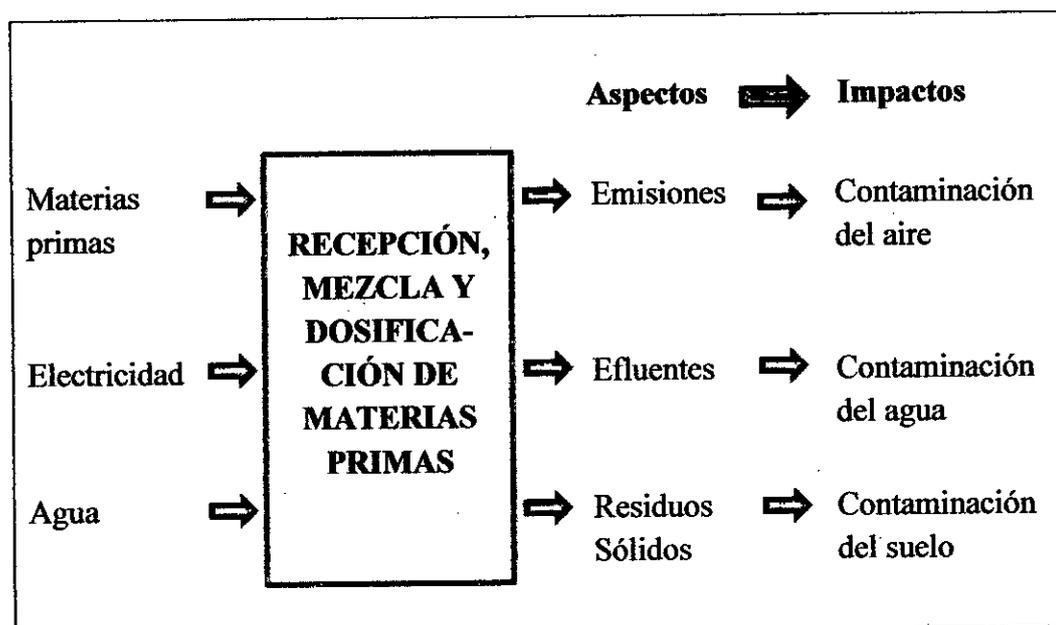
a. Etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias primas

Según la Guía MTD en España-2007, el consumo de materias primas y secundarias (refinantes, colorantes), es el hecho más relevante de esta etapa debido a que son recursos no renovables, mientras que el consumo de energía oscila aproximadamente entre 3 y 10% del total.

Según la Anfevi de España-2013, el vidrio reciclado actualmente es considerado como materia prima (véase el gráfico N° 4.1, en la página 49).

GRÁFICO N° 4.1

VISUALIZACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA RECEPCIÓN MEZCLA Y DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS



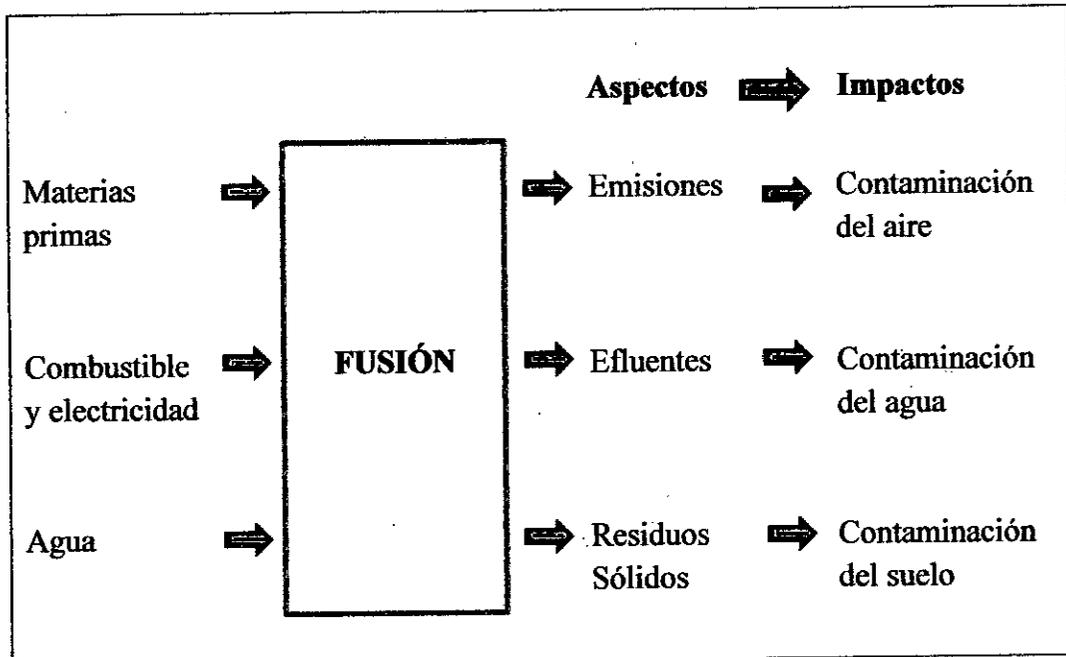
Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

b. Etapa de fusión

Según la Guía MTD en España-2007, en esta etapa se produce el mayor consumo energético (más del 70% del total) es por eso que las mejoras en su rendimiento mediante cualquiera de las medidas que se adopten sean muy importantes. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles (gas natural y mayormente fuel-oil), y en menor medida energía eléctrica (véase el gráfico N° 4.2, en la página 53).

GRÁFICO N° 4.2

VISUALIZACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FUSIÓN



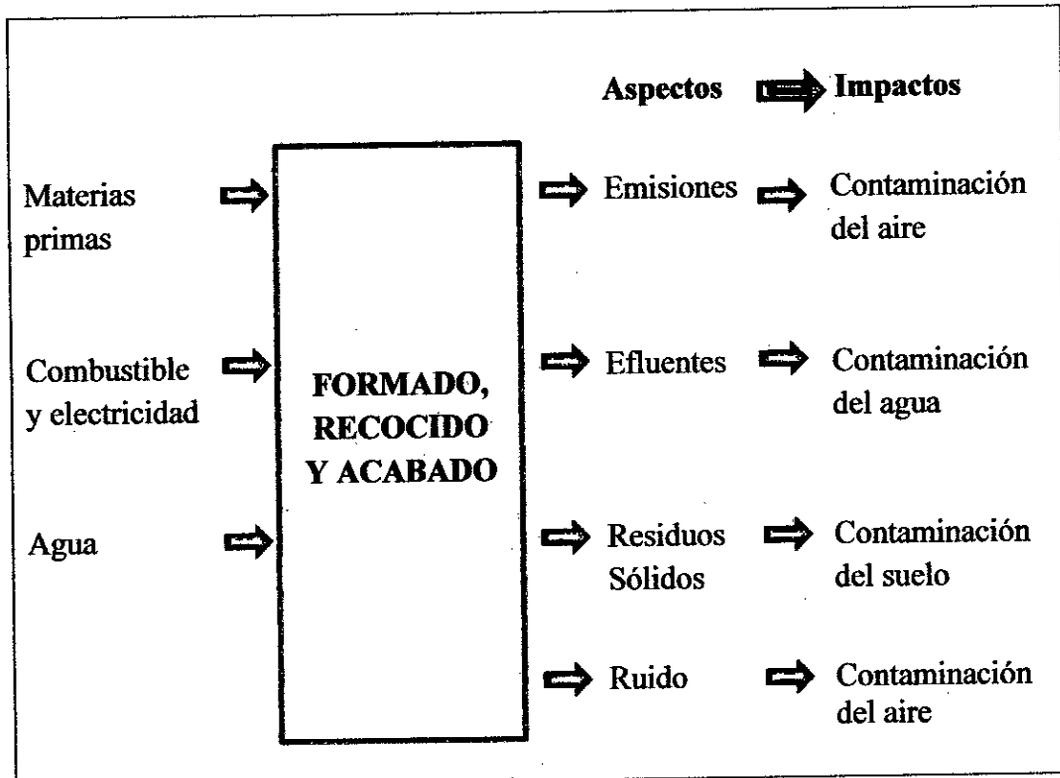
Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

c. Etapa de formado, recocido y acabado

Según la Guía de MTD en España-2007, durante estas etapas el consumo de energía eléctrica es mayor, en comparación con el de los combustibles. Además el consumo de compuestos orgánicos e inorgánicos es significativo (véase el gráfico N° 4.3, en la página 54).

GRÁFICO N° 4.3

VISUALIZACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES EN EL FORMADO, RECOCIDO Y ACABADO



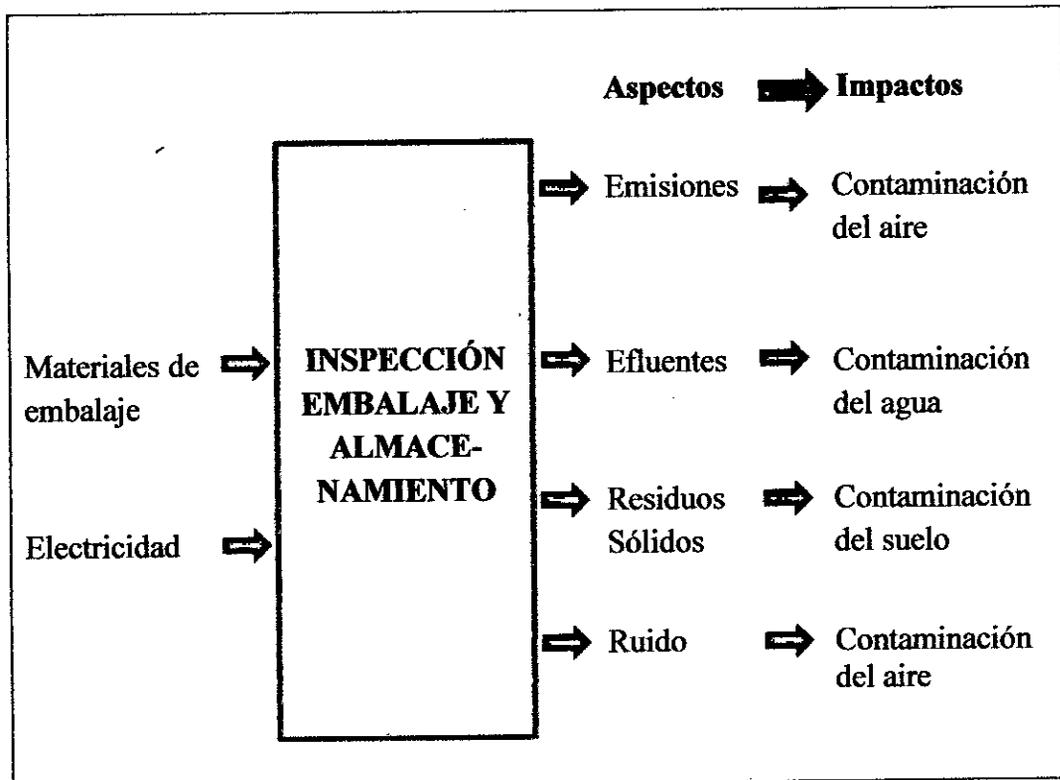
Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

d. Etapa de inspección, embalaje y almacenamiento

Esta etapa es la de menores consumos. Los residuos sólidos generados en esta etapa, provenientes de piezas defectuosas, generalmente son reusados (véase el gráfico N° 4.4, en la página 55).

GRÁFICO N° 4.4

VISUALIZACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA INSPECCIÓN, EMBALAJE Y ALMACENAMIENTO



Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

4.4.3 Análisis de aspectos ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio

Según la Guía de MTD en España-2007, éstos son los principales aspectos ambientales involucrados en la fabricación de envases de vidrio (véase la tabla N° 4.3, en las páginas 56 y 57).

TABLA N° 4.3

**ANALISIS DE ASPECTOS AMBIENTALES EN LA
FABRICACION DE ENVASES DE VIDRIO**

Etapa	Aspectos ambientales
<p>Recepción, mezcla y dosificación de materias primas</p>	<p>Consumos: Materias primas: arena de sílice, carbonatos, sulfatos, vidrio reciclado, componentes minoritarios (óxido de hierro, óxido de cromo, dicromato de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón). Gases para el proceso: oxígeno (en caso de que se utilice). Agua: humidificación, mezclas y lavado (si existe). Energía: eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).</p>
	<p>Emisiones: Polvo y partículas.</p>
	<p>Vertidos: Aguas residuales de lavado con metales (si existe).</p>
	<p>Residuos: Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas de los sistemas de aspiración.</p>
	<p>Ruido.</p>
	<p>Fusión</p>
<p>Emisiones: Partículas, SO_x, CO_2, NO_x, metales pesados (impurezas), HF, HCl, CO.</p>	
<p>Vertidos: Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.</p>	
<p>Residuos: Polvos de los conductos (sulfatos y otros), residuos de refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de hornos.</p>	
<p>Ruido.</p>	

Formado, recocido y acabado	Consumos: Materias primas y auxiliares: para tratamientos en caliente y en frío (tetracloruro de estaño y polietilenos). Agua: refrigeración. Energía: Normalmente consumo de energía eléctrica o combustibles fósiles.
	Emisiones: Vapores, emisiones difusas: <i>HCl</i> , <i>HF</i> , compuestos de <i>Sn</i> (gas y partículas).
	Vertidos: Aguas residuales con restos de vidrio, partículas, aceites, sustancias para el tratamiento de aguas. Purgas, pérdidas.
	Residuos: Vidrio reciclable, derrames y pérdidas, residuos de recubrimientos superficiales, etc.
	Ruido.
Inspección, embalaje y almacenamiento	Consumos: Energía: energía eléctrica.
	Emisiones: Polvo y partículas.
	Vertidos: Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc.
	Residuos: Envases y embalajes de materias primas, rechazos, derrames, pérdidas.
	Ruido.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

4.4.4 Evaluación de aspectos ambientales para el proceso de fabricación de envases de vidrio

a. Criterios de valoración

La valoración ambiental se realizará a través de la evaluación de la relevancia ambiental en cada una de las etapas más importantes, para ello es necesario calificar el impacto, según corresponda (A: impacto bajo, B: impacto medio y C: impacto alto) como se realizó en el análisis del ciclo de vida. Para ello se recurrirá a valores obtenidos por las siguientes fuentes:

Según el grupo de investigación del convenio UIS-IDEAM¹, para producir una tonelada de envases de vidrio son necesarios:

- 1200 Kg. de materia prima (arena de cuarzo, caliza, feldespatos, etc.).
- El combustible líquido consumido es de 268.421 Kg. (85 galones Americanos) por tonelada de producto terminado.
- En el horno se evaporan 19.76% como gases y polvo.
- El proceso total tiene un rendimiento másico del 77.29%.
- El vidrio reciclado se puede introducir en porcentajes que oscilan entre 0 y 98% en peso de la materia prima. Para el proceso que se presenta se utilizó 52%, es decir, 656.842 Kg.

¹ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de la Universidad Industrial de Santander Colombia.

Según el Documento BREF de la Comunidad Europea-2004, 1000 Kg. de vidrio recuperado sustituye aproximadamente a 1200 Kg. de materias vírgenes y la relación entre la entrada de materia prima y material fundido producido varía según el vidrio de desecho utilizado. La eliminación de gases y secado de las materias primas puede representar un 3 a 20% de la entrada. El uso de vidrio reciclado externo puede variar desde 0% a más del 80% situándose la media del sector en 48%, por otro lado, casi todos los procesos reciclan su vidrio interno (normalmente forma parte de un 10% de la mezcla). En base a esto se presenta un resumen de los valores típicos de las entradas y salidas en una planta para la fabricación de envases de vidrio (véase la tabla N° 4.4, en la página 60).

A continuación se realiza la evaluación de la relevancia ambiental para cada una de las principales etapas sin contar con equipos de control ni registro de seguridad.

Para una mejor visualización se resaltan las calificaciones de mayor impacto ambiental según el criterio asignado (véase las tablas N° 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 en las páginas 61, 62, 63 y 64 respectivamente).

TABLA N° 4.4

VALORES TÍPICOS DE ENTRADAS Y SALIDAS EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO²

Parámetros	Según BREF		Según UIS-IDEAM
	Rango	Valor medio ³	Valor Reportado ³
Entradas			
Vidrio recuperado de consumo	0 - 850	400 Kg	656.8 Kg
Arena de sílice	40 - 660	350 Kg	328.4 Kg
Carbonatos	20 - 400	200 Kg	113.7 Kg
Ingredientes para minerales menores	2 - 50	20 Kg	-
Materiales refractarios del horno	5 - 10	8 Kg	-
Materiales de embalaje	40 - 80	45 Kg	-
Moldes y otros	4 - 7	5 Kg	-
Energía, total fuel-oil/gas	4 - 14	6.5 Gj	-
Energía, total electricidad	0.6 - 1.5	0.8 Gj	6.4 Gj
Agua	0.3 - 10	1.8 m ³	-
Salidas			
Productos acabados y embalados	750 - 970	910 Kg	-
Emisiones a la atmósfera			
CO ₂	300 - 1000	430 Kg	1038 Kg
NO _x	1.2 - 3.9	2.4 Kg	-
SO _x	0.5 - 7.1	2.5 Kg	11.8 Kg
Polvo	0.2 - 0.6	0.4 Kg	0.2 Kg
HCl	0.02 - 0.08	0.041 Kg	-
HF	0.001 - 0.022	0.008 Kg	-
Metales	0.001 - 0.011	0.006 Kg	-
H ₂ O (evap. y combust)	0.3 - 10	1.8 m ³	0.3 m ³
Agua residual	0.2 - 9.9	1.6 m ³	-
Residuos a reciclaje	2 - 6	5	-
Otros residuos	3 - 15	5	-

Fuente: Adaptado del Documento BREF Comunidad Europea y del informe del grupo

UIS-IDEAM¹.

² Usando combustibles fósiles.

³ Por tonelada de vidrio fundido (V° F°).

TABLA N° 4.5

**EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL EN LA
RECEPCIÓN, MEZCLA Y DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS**

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL			
Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas			
Servicio/Proceso	Cantidad³	Impacto	Sustento
Input			
Materias Primas	1263 Kg	B	Manipulación y transporte
Electricidad	Sin datos	B	Eficiencia alta
Agua	0.03 m ³	A	Usada para humidificación
Out			
Emisiones atmosféricas	Sin datos	B	Emisión de polvo y partículas sólidas
Efluentes	Sin datos ⁴	A	Sólidos sedimentables (solo si se realiza el lavado)
Residuos Sólidos	Sin datos ⁵	B	No peligroso y reutilizable
Ruido	60-80 dB ⁶	C	En algunos casos sobrepasan ECA
Incidentes	Volatilización de partículas.		
Criterios de evaluación: - Sin equipos de control - Registro de seguridad		Evaluación: A : Impacto Bajo B : Impacto Medio C : Impacto Alto	

Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

Observaciones: Esta etapa es una fuente de generación de ruido.

⁴ Pueden llegar en algunos casos a 0.8 m³/t V° F° (Guía de MTD España, 2007).

⁵ La generación de residuos peligrosos varía entre 0.7 y 1 Kg/t V° F° y la de residuos no peligrosos oscila entre 5 y 6 kg/t V° F° (Anfevi España, 2005).

⁶ Se producen principalmente en los sistemas de alimentación de las materias primas, en los hornos y en las máquinas automáticas de formado (Guía de MTD España, 2007).

TABLA N° 4.6

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL EN LA FUSIÓN

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL			
Etapas: Fusión			
Servicio/Proceso	Cantidad³	Impacto	Sustento
Input			
Materia prima	1295 Kg	A	Principales, secundarios y vidrio reciclado
Combustible	268 Kg	C	Eficiencia alta
Agua ²	0.7 m ³	A	Usada en circuitos cerrados de refrigeración
Out			
Emisiones atmosféricas	200 Kg	C ⁷	Generación de NO _x , SO _x , CO ₂ , partículas
Efluentes	0.7 m ³	A	PH, DQO, DBO, dentro de los límites. Sólidos en suspensión, sulfatos
Residuos sólidos	Sin datos ⁴	A	Peligrosos y no peligrosos
Ruido	60-80 dB ⁵	C	En algunos casos sobrepasan ECA
Incidentes	Vertido de aceites a la red de drenaje.		
Criterios de evaluación:		Evaluación:	
<ul style="list-style-type: none"> - Sin equipos de control - Registro de seguridad 		A : Impacto Bajo B : Impacto Medio C : Impacto Alto	

Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

Observaciones: Esta etapa es una fuente de generación de emisiones atmosféricas y ruido.

⁷ Véase los valores resaltados en la tabla N° 4.4, en la página 60.

TABLA N° 4.7

**EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL EN EL FORMADO,
RECOCIDO Y ACABADO**

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL			
Etapa: Formado, recocido y acabado			
Servicio/Proceso	Cantidad³	Impacto	Sustento
Input			
Materia prima	< 1 Kg	A	Compuestos orgánicos e inorgánicos
Electricidad	Sin datos	A	Generación de aire comprimido
Agua	0.17 m ³	A	Para lavado
Out			
Emisiones atmosféricas	< 1 Kg	B	COV, HCT
Efluentes	0.17 m ³	A	Sólidos en suspensión, aceites y grasas
Residuos sólidos.	Sin datos ⁴	A	Peligrosos y no peligrosos
Ruido	60 a 80dB ⁵	C	En algunos casos sobrepasan ECA
Incidentes	Exposición al ruido.		
Criterios de evaluación: - Sin equipos de control - Registro de seguridad		Evaluación: A : Impacto Bajo B : Impacto Medio C : Impacto Alto	

Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

Observaciones: Esta etapa es una fuente de generación de ruido.

TABLA N° 4.8

**EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL EN LA
INSPECCIÓN, EMBALAJE Y ALMACENAMIENTO**

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA AMBIENTAL			
Etapa: Inspección, embalaje y almacenamiento			
Servicio/Proceso	Cantidad³	Impacto	Sustento
Input			
Materias Primas	< 1 Kg	A	Cartón, plásticos
Electricidad	Sin datos	A	Uso de última tecnología
Out			
Emisiones atmosféricas	Sin datos	A	Generación de vapores
Residuos Sólidos	Sin datos ⁴	A	No peligroso, reciclable
Incidentes			
Criterios de evaluación: - Sin equipos de control - Registro de seguridad		Evaluación: A : Impacto Bajo B : Impacto Medio C : Impacto Alto	

Fuente: Adaptado de las diapositivas de clases de contaminación ambiental realizadas por el Ing. Raymundo Carranza Noriega.

Observaciones: Esta etapa es la de menor significancia ambiental.

Según las evaluaciones de la relevancia ambiental realizadas, la etapa de fusión es una de las principales fuentes de generación de contaminantes seguidamente se encuentra la etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias.

4.5 Descripción de las técnicas más utilizadas para la fabricación de envases de vidrio

Según la Guía de MTD en España-2007, la fabricación del vidrio no es una ciencia exacta, por lo que la aplicación de una misma técnica en hornos similares, puede no producir los mismos resultados. Además la aplicación de soluciones similares para problemas parecidos, está condicionada por las características propias de cada planta o instalación.

La viabilidad técnica de determinadas medidas, implica muchas veces la paralización de los procesos, por tanto es muy importante la consideración de los plazos para la adopción o implantación de estas, sobre todo cuando suponen un cambio tecnológico importante. Este tipo de mejoras, generalmente puede llevarse a cabo en los periodos de reconstrucción de las instalaciones, y para el caso particular de los hornos, coincidente con el final de su vida útil. Se debe tener en cuenta, además, que el costo de aplicación de una determinada técnica, depende fuertemente de las características concretas de cada instalación.

Estas técnicas se clasifican en técnicas primarias y secundarias; las primeras son medidas de prevención de la contaminación, éstas actúan en origen previniendo la formación de contaminantes, mientras que las segundas son medidas de control que se aplican para reducir la emisión de agentes contaminantes generados.

La descripción de las técnicas más utilizadas para la reducción de emisiones y el ahorro de energía se presentan en:

4.5.1 Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

A continuación se describen las técnicas más utilizadas en la manipulación de materias basadas principalmente en la optimización de recursos mejorando la eficiencia de los procesos (véase la tabla N° 4.9 y la tablas N° 4.10, 4.11 y 4.12 en las páginas 67 y 68).

TABLA N° 4.9
EL ALMACENAMIENTO DE SOLIDOS POLVORIENTOS EN
SILOS CERRADOS

Descripción	Las materias primas que se consumen en grandes cantidades, se almacenan en silos cerrados dotados de equipos de recojo y eliminación de polvo.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas de lluvia por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
Principales inconvenientes	Necesidad de grandes espacios.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.10

**EL ALMACENAMIENTO CUBIERTO DE MATERIAS PRIMAS
AUXILIARES**

Descripción	Las materias primas auxiliares de menor consumo se reciben en sacos o contenedores herméticos. Estos envases se almacenan en áreas cubiertas en el interior de las instalaciones con medidas de contención de derrames por ejemplo en bandejas.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas de lluvia por arrastre de materiales almacenados a la intemperie.
Principales inconvenientes	Necesidad de grandes espacios

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.11

**EL ENCAPSULAMIENTO DE LAS CINTAS QUE TRANSPORTAN
MATERIAS PRIMAS**

Descripción	Las materias primas se mueven sobre cintas transportadoras cubiertas.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de emisiones de partículas.
Principales inconvenientes	Dificultad para la vigilancia y el mantenimiento de las cintas.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.12

**EL ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA DE ALIMENTACIÓN DEL
HORNO**

Descripción	Introducir diferentes técnicas en la zona de alimentación del horno que permite controlar las emisiones de polvo: humidificación de la mezcla, alimentadores cerrados, silos de alimentación cerrados, etc.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de emisiones de partículas.
Principales inconvenientes	La humidificación de la mezcla produce un mayor consumo de energía y mayor pérdida de material.

Fuente: Adaptado de la Guía de Ahorro y Energía de la Industria del Vidrio en Colombia.

4.5.2 Etapa: La Fusión

A continuación se describen las técnicas más utilizadas en la etapa de la fusión, que implican desde modificaciones simples al proceso hasta cambios tecnológicos complejos que son aplicados bajo ciertos criterios y condiciones técnicas particulares de cada planta (véase la tabla N° 4.13 y las tablas N° 4.14 a 4.24; en las páginas 70 al 76).

TABLA N° 4.13
EL USO DE HORNOS REGENERATIVOS

Descripción	Es un horno de fusión de vidrio, que permite aprovechar la temperatura de los gases de la combustión para calentar el aire necesario para la misma. Se consigue un precalentamiento del aire de combustión aproximadamente de 1250 °C.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO_2 .
Principales inconvenientes	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO_x .

Fuente: Adaptado de la Guía de Vidrios Chile-1999.

TABLA N° 4.14

EL USO DE HORNOS RECUPERATIVOS

Descripción	Es un horno de fusión de vidrio, que permite aprovechar la temperatura de los gases de la combustión para calentar el aire necesario para la misma. Se consigue un precalentamiento del aire de combustión alrededor de los 850 °C.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO_2 .
Principales inconvenientes	Menor eficiencia energética que los hornos regenerativos.

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 4.15

**EL AUMENTO PROGRESIVO DEL PORCENTAJE DE VIDRIO
RECICLADO COMO MATERIA PRIMA**

Descripción	El vidrio es un material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	<p>Reducción de las emisiones y del consumo de energía por: Un menor empleo de combustible, ya que el vidrio necesita menor energía para fundirse, comparado con las materias primas vírgenes; aproximadamente un 2.5 a 3% de ahorro en energía por cada 10% de vidrio reciclado.</p> <p>Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y a la vez de las emisiones de proceso por descarbonatación, aproximadamente 1 t de vidrio reciclado, ahorra 1.2 t de materias primas.</p> <p>Reducción del volumen de los residuos urbanos.</p>
Principales inconvenientes	<p>Las instalaciones que producen vidrio incoloro, no cuentan con vidrio reciclado externo como materia prima. En la recolección selectiva del vidrio no se distingue entre vidrio incoloro y vidrio de color, por lo cual, no se puede incorporar al proceso productivo de vidrio reciclado externo.</p> <p>El vidrio reciclado incoloro, procede en su mayoría de partes de rechazo del mismo proceso productivo; y en cualquier caso es muy difícil que el porcentaje de reciclado, supere el 10%.</p> <p>Falta de desarrollo de equipos que separen por colores y que resulten rentables para tratar vidrio reciclado a los niveles de exigencia requeridos.</p> <p>Pérdida de calidad del producto por tratamiento inadecuado, cuanto mayor es el porcentaje de vidrio reciclado; mayores son las exigencias de calidad en cuanto a contaminantes (cerámica, porcelana, piedras, metales magnéticos y no magnéticos, materia orgánica), por lo cual se necesitan instalaciones más sofisticadas para su tratamiento.</p>

Fuente: Adaptado de la ANFEVI de España- 2013.

TABLA N° 4.16

EL USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO APOORTE PARA LA FUSIÓN

Descripción	Empleo de la energía eléctrica, en sustitución de parte del combustible fósil o como aporte extra para la fusión del vidrio.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción del consumo de combustibles fósiles, y por tanto de partículas y gases como SO_x , NO_x y CO_2 .
Principales inconvenientes	La cantidad de energía eléctrica para sustituir al combustible fósil, viene condicionada por su precio (se estima que es rentable <5% de la energía total consumida en el horno en las condiciones actuales). El aprovechamiento energético de combustible fósil en un horno para fundir vidrio es muy superior al que se consigue en una central térmica para producir energía eléctrica.

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 4.17

LOS CAMBIOS EN EL DISEÑO DE LOS HORNOS

Descripción	La formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos, tiene lugar en la superficie del vidrio. Los cambios en el diseño del horno, intentan mejorar la transmisión de energía a través de la masa vitrificable; de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de partículas, NO_x , SO_2 y CO_2 . Reducción del consumo de energía.
Principales inconvenientes	Necesidad del uso de una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.

Fuente: Adaptado de la Guía Ahorro de Energía en la Industria del Vidrio en Colombia.

TABLA N° 4.18

LAS BUENAS CONDICIONES DE LA LLAMA

<p>Descripción</p>	<p>En la industria del vidrio, la llama debe satisfacer un cierto número de criterios para mejorar la capacidad de fusión y permitir la elaboración de un vidrio de calidad; tales como:</p> <p>Asegurar una buena cobertura del baño de vidrio por las llamas.</p> <p>Es necesario tener una llama bien luminosa y lo más caliente posible para aumentar la transferencia térmica por radiación.</p> <p>Es necesario controlar el reparto térmico y el carácter oxidante o reductor de la llama, con el fin de evitar los fenómenos de formación de espuma y controlar la coloración y el afinado del vidrio.</p> <p>En las llamas de difusión, donde la mezcla del comburente y el combustible se realiza en el horno, la impulsión del chorro de combustible; es un parámetro muy importante, porque actúa sobre la longitud de la llama. Si el impulso aumenta, la longitud de la zona de combustión aumenta y con ello la formación de NO_x es más rápida, pero más limitada en el tiempo.</p>
<p>Clasificación</p>	<p>Técnica primaria.</p>
<p>Impactos ambientales</p>	<p>Reducción de las emisiones de NO_x.</p>
<p>Principales inconvenientes</p>	<p>El aumento de la impulsión, genera fenómenos secundarios inversos (recirculación de los humos, disminución del tiempo de estancia de los compuestos químicos que conforman el vidrio).</p>

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.19

EL POSICIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES

Descripción	Debido a una elevada velocidad del gas o un elevado nivel de turbulencias en la superficie del vidrio, puede incrementar la volatilización de sustancias de la masa vitrificable, una práctica habitual en los hornos de vidrio, es la búsqueda del posicionamiento ideal de los quemadores; tratando de optimizar la velocidad, la dirección y la combustión del gas.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de NO_x . Reducción de la emisión de partículas.
Principales inconvenientes	Estas modificaciones en el posicionamiento de los quemadores, suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno.

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 4.20

EL USO DE GAS NATURAL EN SUSTITUCIÓN DEL COMBUSTIBLE FUEL OIL

Descripción	Uso del gas natural como energía principal en el horno de fusión de vidrio.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de partículas y gases como: SO_2 y CO_2 .
Principales inconvenientes	El uso de gas natural, aumenta de manera significativa la emisión de gases NO_x . La transferencia de calor a la masa vitrificable es menor, debido a la baja luminosidad de la llama, por lo cual el consumo de energía es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio. Depende del precio del gas natural y de las posibilidades de acceso al mismo. Puede reducir la capacidad extractiva del horno.

Fuente: Adaptado de la Guía 96 Control de la Contaminación del Vidrio en España-2000.

TABLA N° 4.21

LA REDUCCIÓN DE LA RELACIÓN AIRE GAS A NIVELES ESTEQUIOMÉTRICOS

Descripción	Controlar la cantidad del aire que se emplea para que la combustión del gas sea lo más baja posible.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de NO_x .
Principales inconvenientes	Dificultad para mantener las condiciones estequiométricas con la información que se maneja actualmente sobre las características del combustible. Si la combustión del gas está por debajo del nivel estequiométrico, la concentración del CO puede aumentar peligrosamente, afectando a los refractarios (que se desgastan); dándole un carácter reductor a la atmósfera del horno, la que puede afectar a la calidad del vidrio (grado de afinado, color, etc.). Además, al no producirse una oxidación completa del carbono, disminuye el rendimiento energético.

Fuente: Adaptado del Documento BREF de la Comunidad Europea-2004.

TABLA N° 4.22

EL SELLADO DE LAS PAREDES DEL HORNO Y CÁMARAS

Descripción	Reducir la entrada de aire infiltrado, el cual aumenta la presencia de NO_x .
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de NO_x . Reducción del consumo de energía.
Principales inconvenientes	Dificultad para mantener en el tiempo, ya que las cámaras sufren procesos de dilatación y contracción por las condiciones de trabajo.

Fuente: Adaptado de la Guía Ahorro de Energía en la Industria del Vidrio en Colombia.

TABLA N° 4.23

EL USO DE QUEMADORES DE BAJA EMISIÓN DE NO_x

Descripción	Las principales características de estos quemadores son: Reducción de picos en las temperaturas de la llama, ya que permiten una mezcla más lenta entre el gas y el aire de combustión. Aumento de la radiación en las llamas. Disminuye la volatilización de los óxidos de sodio procedente del baño de vidrio fundido.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción de la emisión de partículas y NO _x .
Principales inconvenientes	En los hornos transversales la mayor longitud de la llama, puede penetrar en las cámaras disminuyendo su vida útil.

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 4.24

EL USO DE MATERIALES REFRACTARIOS DE ELEVADA EFICIENCIA, MEJORA EL AISLAMIENTO

Descripción	La mejora en los materiales refractarios, permite reducir las pérdidas de calor del horno y alargar la vida útil del mismo.
Clasificación	Técnica primaria.
Impactos ambientales	Reducción del consumo de energía.
Principales inconvenientes	El aislamiento está limitado por el desarrollo de los materiales interiores del horno.

Fuente: Adaptado de la guía de MTD en España- 2007.

4.6 Aplicación de tecnologías limpias para la fabricación de envases de vidrio

La aplicación de tecnologías limpias para la fabricación de envases de vidrio incluye la revisión, descripción y evaluación de las mejores técnicas utilizadas en la actualidad. Se incluyen también variables muy importantes como la aplicabilidad, impactos ambientales derivados de su uso, así como ventajas y desventajas.

Las mejoras técnicas están centradas en la reducción de emisión de partículas y gases NO_x , SO_x , HCl y HF que son los principales contaminantes de la etapa más relevante, la fusión (véase la tabla N° 4.6, en la página 62). Cabe indicar que las mejores técnicas no incluyen la reducción de emisiones de ruido (calificado como impacto alto), el cual podría ser un tema de investigación a futuro.

4.6.1 Mejores técnicas usadas para reducir las emisiones de material particulado

A continuación se detallan todas aquellas mejores técnicas usadas para reducir las emisiones de material particulado, probadas ampliamente a nivel industrial (véase las tablas N° 4.25 a 4.27, en las páginas 78 a 82).

TABLA N° 4.25

MEDIDAS PRIMARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE PARTÍCULAS

Etapa	Recepción, mezcla y dosificación de materias primas.
Clasificación	Técnicas primarias.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • El almacenamiento de sólidos polvorientos en silos cerrados, equipados con sistema de recojo y eliminación de polvo. • El almacenamiento de materias primas auxiliares con potencial de generar polvo, en sacos cerrados o contenedores herméticos en almacenes cubiertos. • Evitar el almacenamiento de materiales con potencial de generar polvo, a la intemperie. • Las coberturas para las cintas transportadoras. • El control de las emisiones en zona de carga mediante humidificación, etc.
Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de grandes espacios para poder construir silos de almacenamiento adecuados para las cantidades consumidas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se consiguen considerables reducciones en las emisiones de partículas para la mayoría de instalaciones. • Estas técnicas, no tienen ningún impacto ambiental negativo significativo. • Se evita la pérdida de materias primas. • Se previene la contaminación de aguas de lluvia por arrastre de materiales almacenados a la intemperie y de suelos por lixiviación.
Desventajas	Necesidad de grandes espacios para la construcción y elevados costos.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.26

EL USO DE PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO O ELECTROFILTRO

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica secundaria.
Descripción	<p>El equipo genera un campo electrostático cargando negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, por lo que éstas migran hacia las placas colectoras (que están cargadas positivamente). Las placas se limpian periódicamente mediante un golpe o por vibración.</p> <p>Generalmente el sistema requiere de un pretratamiento de los gases con un agente alcalino con el objetivo de neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p>
Aplicabilidad	La principal limitación es su alto costo económico, por lo tanto, resultaría justificable en el caso de hornos con una capacidad productiva de al menos 200 a 250 t/día de vidrio.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada eficacia para la eliminación de partículas. • El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso en su mayor parte. • Menor pérdida de carga con respecto a los filtros de mangas, por lo que los costos operativos son menores. • Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración (por ejemplo de SO_2). • No se satura fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas. • Permite la filtración de gases a elevadas temperaturas (350 a 400°C) y está más utilizado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas. • Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos, por supuesto, teniendo espacio disponible.

<p>Desventajas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita energía eléctrica para su funcionamiento y el tema de costos es muy elevado (aprox. <1% de la energía total consumida en el horno). • El residuo generado no es totalmente reutilizable, especialmente en envases; donde los requisitos de sulfato para vidrio reducido son muy bajos cuando se logran consumos elevados de vidrio reciclado. • Es necesario instalar previamente un lavador de gases ácidos, por lo cual se elevan los costos de mantenimiento y operación. • Elevados costos de inversión y explotación. • Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño, de lo contrario la eficiencia disminuiría considerablemente. • Necesidades de espacios grandes para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno. • Puede provocar interferencias en la conducción del horno (sobre todo en el control de la presión). • La utilización de medidas de seguridad, para el uso de equipos de alto voltaje.
<p>Limitaciones de aplicación</p>	<p>En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día, los elevados costos; pueden conllevar a que se elijan otras técnicas alternativas como son los filtros de mangas.</p> <p>Su implantación generalmente se realiza con la reparación total del horno.</p>
<p>Impactos ambientales</p>	<p>Genera una elevada cantidad de residuos de polvo de electrofiltro (entre 1000 a 2000 Kg/día), no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características fisicoquímicas de este residuo (elevada solubilidad) requieren del uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</p> <p>Elevado consumo de energía tanto para el funcionamiento del electrofiltro como para la extracción de los gases depurados (ventilador).</p>

Fuente: Adaptado de la Guía de Vidrios Chile-1999.

TABLA N° 4.27

EL USO DE FILTRO DE MANGAS

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica secundaria
Descripción	El sistema consta de membranas textiles permeables al gas que retienen las partículas. El gas a tratar fluye del interior al exterior de la manga. El polvo retenido se debe eliminar para evitar la pérdida de carga, esto se realiza mediante: flujo inverso, agitación, vibración o aire comprimido. El equipo puede instalarse en algunos casos para funcionar conjuntamente con un scrubber seco o semisecco para gases ácidos.
Aplicabilidad	La principal limitación son sus costos operativos y la elevada pérdida de carga generada por la retención del polvo, por lo que su aplicación se limita a hornos de baja o mediana dimensión, con unos caudales de flujos de gases entre 20000 a 30000 m ³ /h. El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (costo operativo) y el tamaño (costo de inversión). Si la velocidad de la filtración es demasiado elevada, la pérdida será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro será eficiente, pero muy costoso.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada eficiencia en la eliminación de partículas. • Producto residual en estado seco. • Bajo costo de inversión en las aplicaciones más simples. • Estos equipos, suelen estar dotados de sistemas de limpieza automatizados (con sensores de colmatación).
	<ul style="list-style-type: none"> • La tendencia de las partículas (presentes en el gas residual) a adherirse al material del filtro, hace que la limpieza del filtro sea a menudo difícil. • Algunos tipos de partículas, debido a su adherencia, son muy difíciles de retirar; lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado. • Las características que se deben tener en cuenta a la hora de

<p>Desventajas</p>	<p>seleccionar el material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficiencia de recolección, permeabilidad del tejido, etc.) hacen que el precio de las mangas pueda ser elevado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A menudo se requiere de un enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtros convencionales, tienen normalmente una temperatura operativa máxima entre 130 y 220°C; y en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el costo. • Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como el H_2SO_4 o agua). Si la temperatura es demasiado baja, se produce la condensación; lo que provoca la obstrucción del tejido. • Se requiere la sustitución de la manga después de 2 a 4 años de uso. Si se produce un problema y las mangas resultan dañadas, el costo de sustitución puede ser alto. Este tipo de problemas suele ocurrir. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de residuos de las mangas generados en cada proceso, para saber si se trata de residuos peligrosos. • La necesidad de enfriamiento de los gases, impide la aplicación del filtro de mangas; en el caso de realizar posteriormente una desnitrificación de los gases mediante catalizador (SCR). Ésta tecnología se puede aplicar sobre los gases depurados y a una temperatura de 350°C. • La mayoría de los hornos de vidrio que operan con combustibles fósiles, requieren un control de presión sensible; y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga, puede hacerlo más difícil.
<p>Impactos ambientales</p>	<p>Elevado consumo de energía, usado para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas. Genera una elevada cantidad de residuos, no siempre reutilizables en el proceso de fusión.</p>

Fuente: Adaptado de la Guía de Vidrios Chile-1999.

4.6.2 Mejores técnicas usadas para reducir las emisiones de NO_x

A continuación (véase la tabla N° 4.28 y las tablas N° 4.29 a 4.31, en las páginas 85 a 89) se describen cada una de las mejores técnicas para reducir las emisiones de NO_x , principal contaminante ambiental de esta industria.

TABLA N° 4.28
MEDIDAS PRIMARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE NO_x

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnicas primarias.
Descripción	<p>Reducir la emisión de NO_x mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none">• La reducción de la relación aire/combustible.• La reducción de la temperatura del aire de combustión.• La combustión por etapas.• La recirculación de los gases de combustión.• El uso de quemadores de baja emisión de NO_x.• La elección del combustible.• El refuerzo eléctrico.• El diseño adecuado de la geometría del horno.• El posicionamiento y número de quemadores.• El aumento en el empleo de vidrio reciclado como materia prima.

Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de implantar una serie de técnicas para conseguir eliminar de manera eficiente y relevante; así como también contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción e implementación de las mismas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente bajos costos. • Se consiguen reducciones significativas en las emisiones de NO_x para la mayoría del tipo de hornos. • Estas técnicas no generan impactos ambientales negativos significativos, y pueden producir un ahorro importante de energía. • Las menores temperaturas de trabajo de los hornos y el menor consumo energético, traen consigo menores emisiones globales.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un trabajo especializado para obtener mejores resultados, debido a ello a veces es necesario modificar el diseño del horno. • Debe tenerse especial cuidado en evitar problemas de calidad del vidrio, debido a cambios redox. • Deben controlarse los niveles de CO, para evitar daños en el material refractario. • La atmósfera más reductora, puede fomentar las emisiones de SO_2.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 4.29

LA OXICOMBUSTIÓN

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica primaria.
Descripción	La combustión está basada en la utilización de oxígeno en reemplazo del aire, para quemar el combustible. Al no introducir el nitrógeno del aire, se reduce la producción de óxidos de nitrógeno (NO_x). El oxígeno debe ser producido por separado.
Aplicabilidad	Su uso en la industria del vidrio se ha visto limitada, y la técnica es todavía considerada como una tecnología en desarrollo con un posible elevado incremento de costos. En general, es beneficioso retrasar su instalación hasta la siguiente reconstrucción del horno; para potenciar al máximo los beneficios obtenidos y evitar los problemas previstos.
Ventajas	Baja emisión de NO_x .
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del consumo de energía en alrededor del 6% (comparado con los hornos de generadores), a causa del elevado consumo energético para la producción de oxígeno. • Aumento de la contaminación global, debido al incremento del consumo de energía.
Impactos ambientales	Consumo de energía.

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 4.30

LA REACCIÓN Y REDUCCIÓN EN LOS REGENERADORES (3R)

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica secundaria.
Descripción	Adición controlada de un combustible hidrocarbonado (Diesel, gas natural, etc.) en la corriente de gas de combustión, a la entrada del regenerador. El combustible no se quema, sino que se disocia y reduce el NO_x formado en el horno. Esta tecnología es de aplicación en hornos regenerativos, donde el regenerador proporciona las condiciones necesarias: temperatura, mezcla turbulenta y tiempo de residencia para una reacción adecuada. El grado de reducción de NO_x , depende principalmente de la cantidad de combustible adicionado.
Aplicabilidad	Sólo es aplicable a hornos regenerativos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede conseguir reducciones significativas de NO_x. • Es aplicable a la mayoría de hornos regenerativos. • No es necesario realizar cambios importantes en el diseño o funcionamiento de la planta. • Bajos costos de inversión. • Puede aplicarse sin necesidad de parar el horno. • No se requieren reactivos químicos.

	<ul style="list-style-type: none"> • El consumo de combustible adicional se puede compensar, en algunos casos, con la recuperación de calor perdido.
Desventajas	<p>La atmósfera reductora creada en los regeneradores, daña los materiales refractarios. Se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores, aproximadamente dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando su vida media normalmente es de 10 a 12 años. La sustitución de materiales refractarios por materiales de mayor resistencia térmica y química, representa la elevación de costos que no compensan con la reducción conseguida en NO_x. La calidad del refractario para el regenerador, debe soportar químicamente la presencia de elevadas concentraciones de CO y térmicamente el aumento de la temperatura del gas de combustión.</p>
Impactos ambientales	<p>Mayor consumo de combustible (generalmente un 7%).</p> <p>Mayores emisiones de CO_2 (de 20 a 30 Kg /t V° F°).</p>

Fuente: Adaptado del Documento BREF de la Comunidad Europea-2004.

TABLA N° 4.31

LA REDUCCIÓN SELECTIVA CON CATALIZADOR (SCR)

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica secundaria.
Descripción	Se hace reaccionar al NO_x con amoníaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO_2 y V_2O_5 , depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500°C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador.
Aplicabilidad	Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia para la reducción de NO_x • Reduce el NO_x de todas las fuentes del horno (no solo el NO_x térmico) • Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica. • La eficiencia está garantizada por los proveedores.
Desventajas	<p>El sistema consume energía de forma considerable. Debe instalarse un sistema de eliminación de polvo y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y SO_2.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de inversión. • Grandes necesidades de espacio. • Vida útil de los catalizadores sin diagnosticar. • La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor. • Se necesita enfriamiento especialmente para trabajar en hornos recuperativos.

<p>Limitaciones de aplicación</p>	<p>Uno de los aspectos clave de la aplicación de SCR, es la vida útil del catalizador y su contaminación. Hay aspectos técnicos aún por resolver para evitar la posible contaminación en plantas a gas natural o fuel-oil. Un problema asociado a esta técnica puede ser la formación de bisulfato de amonio como consecuencia de la reacción del reactivo con el SO_3 formado, especialmente cuando el combustible contiene una elevada concentración de azufre.</p> <p>El bisulfato, puede envenenar el catalizador, causar incrustaciones y corrosión de los equipos.</p> <p>Algunas partículas de metales alcalinos pueden contaminar también el catalizador.</p> <p>En muchos casos es recomendable la instalación de un lavador para gases ácidos.</p>
<p>Impactos ambientales</p>	<p>Se consume y emite amoníaco, cuyo almacenamiento y manipulación involucra medidas de seguridad para evitar problemas ambientales.</p> <p>Fuera del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH_3 o un aumento de las emisiones de NO_x. La exposición a una temperatura demasiado baja, produce un desprendimiento de NH_3, y una menor eficiencia; por otro lado si es demasiado alta, puede producirse un aumento en la emisión de NO_x.</p>

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

4.6.3 Mejor técnica usada para reducir las emisiones de SO_x , HCl y HF .

A continuación se describe la mejor técnica usada para reducir las emisiones de SO_x , HCl y HF con resultados positivos a nivel industrial (véase la tabla N° 4.32).

TABLA N° 4.32

EL LAVADOR POR VÍA SECA O SEMIHÚMEDA

Etapa	La fusión (horno).
Clasificación	Técnica secundaria.
Descripción	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el SO_x para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas. En el proceso seco, el absorbente es un polvo seco generalmente $Ca(OH)_2$, $NaHCO_3$ o Na_2CO_3; que pueden ser dispersados mediante aire a presión. En el proceso semisecho, el absorbente puede ser: Na_2CO_3, CaO o $Ca(OH)_2$; se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfría la corriente de gas. En la industria del vidrio el proceso más usado es el seco, con $Ca(OH)_2$, junto con un precipitador electrostático a una temperatura de 400°C aproximadamente.</p> <p>El lavador puede instalarse como protección para otros equipos contra los gases ácidos.</p>
Aplicabilidad	<p>Las técnicas son aplicables mayormente a todos los procesos con gases residuales que contengan sustancias ácidas. El proceso seco se utiliza más ampliamente en la industria del vidrio ya que tradicionalmente ha sido la forma más eficaz, desde el punto de vista de costos.</p>

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden conseguirse reducciones considerables en las emisiones de SO_x (según el balance específico de azufre y el reciclado del polvo del electrofiltro). • Los absorbentes utilizados son efectivos también para capturar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio. • Generalmente el residuo recolectado (polvo), puede ser reciclado.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo adicional de energía. • Costos de inversión y operación significativos.
Limitaciones de aplicación	<p>En el caso de utilizar en conjunto con un filtro de mangas, los gases se deben enfriar.</p> <p>Su implementación se debe realizar junto con la reparación del horno.</p>
Impactos ambientales	<p>Se produce un residuo sólido, que puede aumentar de manera significativa la cantidad de residuos. En la mayoría de casos, puede reciclarse, pero se necesita ajustes en el proceso y limitan la eficiencia global de reducción de SO_x.</p> <p>Cuando se usan pequeñas cantidades de vidrio reciclado en la composición, el sulfato aportado por éste, representa una cantidad menor que la requerida para el afinado consiguiéndose una reducción de las emisiones de SO_x y del consumo de sulfato de sodio. Por el contrario, con niveles elevados de vidrio reciclado en la composición, la cantidad de sulfato aportada es mayor que la requerida en la mezcla creándose un residuo sólido que se debe tratar; y a menos que se elimine una parte del polvo, las emisiones de SO_x aumentan. Este problema es mayor en vidrios reducidos con elevados niveles de material reciclado.</p>

Fuente: Adaptado de la Guía de Vidrios Chile-1999.

V. RESULTADOS

Según la Guía de MTD en España-2007, los niveles y porcentajes de emisión alcanzados en los hornos de fusión como consecuencia directa de la aplicación de las mejores técnicas disponibles se presentan a continuación (véase la tabla N° 5.1 y la tabla N° 5.2, en la página 93).

TABLA N° 5.1
NIVELES DE EMISIONES ALCANZADOS CON LA
IMPLANTACIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Parámetros	Rango de emisión (Kg/t V° F°)					
	Con filtro de mangas	Con precipitador electrostático	Con lavador de gases	Con oxi-combustión	Con 3R	Con SCR
Partículas	0.015-0.030	0.045-0.075	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
NO _x	No aplica	No aplica	No aplica	0.7- 1.2	0.75-1.65	1.05-1.5
SO _x	No aplica	No aplica	Gas natural: 0.75-1.35 Fuel oil: 1.8-2.4	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

TABLA N° 5.2

**PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA VARIAS
TECNOLOGÍAS**

Parámetros	Técnica aplicada	% de reducción
Partículas	Medidas primarias	A través de una combinación apropiada de estas medidas se consigue que las emisiones sean insignificantes.
	Precipitador electrostático	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70 a 90%, y está en función de la concentración inicial y al número de campos que compongan el filtro.
	Filtro de mangas	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85 a 95%, en función de la concentración de los gases a tratar.
NO _x	Medidas primarias	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70%, en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los gases.
	Oxicombustión	La eficiencia de eliminación es de 20 a 45%.
	3 R	Reducción global de NO _x del orden del 70 a 80%.
SO _x , HCl, HF	SCR	Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtro de mangas necesitaría un recalentamiento posterior de los gases. La eficiencia de eliminación de NO _x es del 70 a 90%.
	Lavador por vía seca o semihúmeda	La eficiencia en la eliminación del gas ácido, puede variar notablemente en función del tipo y cantidad del reactivo empleado, la temperatura del proceso de tratamiento de los gases y del tipo de gas a tratar. La emisión de SO _x se puede reducir entre el 80-90%, y en el caso del HCl y HF, hasta el 95%.

Fuente: Adaptado de la Guía de MTD en España-2007.

Según el Documento BREF de la Comunidad Europea-2004, las mejoras tecnológicas primarias o secundarias nos permitirán reducir las emisiones atmosféricas. A continuación (véase la tabla N° 5.3) se presentan los niveles registrados con las mejores técnicas disponibles (MTD).

TABLA N° 5.3
NIVELES DE EMISION REGISTRADOS CON MTD

Parámetros	Kg/t V° F°		
	Con filtro de mangas	Con precipitador electrostático	Con lavador de gases
Partículas	< 0.1	< 0.1	No aplica
SO _x	No aplica	No aplica	Gas natural: 0.30-0.75 Fuel oil: 0.75-1.80
HCl	No aplica	No aplica	< 0.05
HF	No aplica	No aplica	< 0.01

Fuente: Adaptado del Documento BREF Comunidad Europea- 2004.

Según la Guía para el Control de las Emisiones de NO_x USEPA-1994, las modificaciones de la combustión en los hornos de vidrio que disminuyen el NO_x pueden aumentar las emisiones de CO y de hidrocarburos no quemados. En el proceso de oxidación se da un aumento en las emisiones de SO_x y un descenso en las de CO y CH₄, no sucediendo lo mismo para otras tecnologías (véase las tablas N° 5.4 y 5.5, en la pág. 95).

TABLA N° 5.4
EFFECTOS DE LA OXICOMBUSTIÓN EN LAS EMISIONES
ATMOFÉRICAS

Parámetros	Kg/t V° F°	
	Sin control ⁸	Oxicombustión
Partículas	0.60	0.442
NO _x	2.52	0.406
SO _x	0.31	0.484
CO	0.04	0.0015
CH ₄	0.01	0.004

Fuente: Tomado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

TABLA N° 5.5
EFFECTOS DE OTRAS TECNOLOGÍAS EN LAS EMISIONES
ATMOFÉRICAS

Parámetros	Kg/t V° F°			
	Sin control ⁹	Con filtro de mangas	Con precipitador electrostático	Con lavador de gases
Partículas	0.7	despreciable	despreciable	< 0.1
NO _x	3.1	No aplica	No aplica	No aplica
SO _x	1.7	No aplica	No aplica	0.1

Fuente: Adaptado de la Guía de Control de Emisiones de NO_x USEPA-1994.

⁸ Combustible usado: gas natural.

⁹ Combustible usado: fuel oil.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los valores obtenidos en las tres fuentes citadas, demuestran que existe una reducción significativa de las emisiones de partículas (< 0.1 , 0.015 a 0.030 y < 0.1 según BREF, la Guía de España y la USEPA respectivamente; asimismo para el caso de las emisiones de NO_x se obtuvieron reducciones considerables (0.7 a 1.2 y 0.406 según la Guía de MTD en España y la USEPA respectivamente) y finalmente para la reducción de SO_x se obtuvieron reducciones sustanciales usando un lavador de gases (véase la tabla N° 6.1, en la página 97).

Para realizar un análisis de los resultados de la aplicabilidad, ventajas, desventajas e impactos ambientales de las técnicas anteriormente citadas, se realizará una valoración cualitativa (véase la tabla N° 6.2, en la página 98).

En la valoración realizada en la etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias primas, así como también para la fusión, se asignan calificaciones basadas en la información bibliográfica, por ejemplo para el caso del encapsulamiento de las cintas que transportan materias primas, el valor de las ventajas (calificado como alto) y la aplicabilidad (calificado como medio) es mayor en comparación a las desventajas presentadas a nivel industrial (véase la tabla N° 6.3, en la página 99)

TABLA N° 6.1

COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS PARA LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Parámetros	Valores registrados en Kg/t de vidrio fabricado					
	Sin medidas de control ¹⁰			Con medidas de control primarias y secundarias		
	Según BREF	Según UIS-IDEAM	Según USEPA	Según BREF	Según Guía MTD España	Según USEPA
Partículas	0.2 - 0.6	0.2	0.7	< 0.1 (Filtro de mangas)	0.015 – 0.030 (Filtro de mangas)	< 0.1 (Lavador de gases)
NO _x	1.2 - 3.9	-	3.1	-	0.7 – 1.2 (Oxicombustión)	0.406 (Oxicombustión)
SO _x	0.5 - 7.1	11.8	1.7	0.30 – 0.75 (Lavador de gases)	0.75 – 1.35 (Lavador de gases)	0.1 (Lavador de gases)

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Usando combustibles diferentes al gas natural.

TABLA N° 6.2

CRITERIOS DE VALORACIÓN

Criterios	Valoración
Aplicabilidad (A)	• Fácil..... 1
	• Posible..... 2
	• Difícil..... 3
Ventajas (V)	• Bajo..... 1
	• Medio..... 2
	• Alto..... 3
Desventajas (D)	• Bajo..... 1
	• Medio..... 2
	• Alto..... 3
Impactos Ambientales (I)	• Muy bajo..... 1
	• Bajo..... 2
	• Medio..... 3
	• Considerable..... 4
	• Alto..... 5
	• Muy alto..... 6

uente: Elaboración Propia.

TABLA N° 6.3

**VALORACIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA
REDUCCIÓN DE EMISIONES**

Técnicas	A	V	D	I
Etapas: Recepción , mezcla y dosificación de materias primas				
El almacenamiento de sólidos polvorientos en silos cerrados.	1	3	1	1
El almacenamiento cubierto de materias primas auxiliares.	1	2	2	2
El encapsulamiento de las cintas transportadoras de materias primas.	2	3	2	1
El acondicionamiento de la zona de alimentación del horno.	1	2	2	2
Etapas: La fusión				
Partículas				
El uso filtro de mangas	2	3	1	2
El uso precipitador electrostático o electrofiltro	2	3	1	2
Óxidos de Nitrógeno				
<ul style="list-style-type: none"> • La reducción de la relación aire/combustible. • La reducción de la temperatura del aire de combustión. • La combustión por etapas. • La recirculación de los gases de combustión. • El uso de quemadores de baja emisión de NO_x. • La elección del combustible. • El apoyo eléctrico. • El diseño adecuado de la geometría del horno. • El posicionamiento y número de quemadores. • El aumento en el empleo de vidrio reciclado 	2	3	2	1
La oxicombustión	2	3	1	1
La reacción y reducción en los regeneradores (3R)	2	2	2	2
La reducción selectiva con catalizador (SCR)	2	2	2	2
Óxidos de azufre, haluros (HF y HCl)				
El lavador por vía seca o semihúmeda	2	2	2	2

Fuente: Elaboración Propia.

VII. CONCLUSIONES

1. Como resultado de la valoración de los aspectos ambientales del análisis del ciclo de vida de los envases de vidrio, se determinó que la fabricación es la etapa de mayor relevancia ambiental, asimismo dentro de ésta, la fusión es la principal actividad de consumos energéticos y fuente de emisión de contaminantes seguido de la etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias primas.
2. En la etapa de fusión, las características corresponden a un proceso de alto consumo energético y gran generador de emisiones como partículas, SO_x , CO_2 , NO_x , metales pesados (impurezas), HF, HCl, CO.
3. En la etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias primas, las características corresponden principalmente a la generación y emisión de partículas.
4. Se ha encontrado que para el tratamiento de las emisiones de material particulado en los hornos, la incorporación de filtro de mangas o precipitador electrostático brindan buenos resultados; consiguiéndose eficiencias de 95 y 90% respectivamente, teniendo un costo de inversión¹¹ actual aproximado de \$5000000 cada una y en función del caudal de gases a tratar. Asimismo para la reducción de emisiones de NO_x como medida primaria, inicialmente se debe hacer un adecuado control de procesos; seguidamente se recomienda aplicar la oxicomustión lográndose obtener eficiencias del 45% con un costo de inversión actual¹¹ de \$5800000 y de

¹¹ Considerando una tasa de inflación de 2.5% anual, según la AUE.

buenos resultados en su valoración (véase la tabla N° 6.3, en la página 99).
Para la prevención de la generación emisiones de SO_x , se recomienda usar el gas natural para la combustión en los hornos (medida primaria) así mismo implementar un lavador de gases como medida de control; logrando con este una eficiencias del 90% con un costo de inversión actual¹¹ de \$4600000.

5. Para el caso de las emisiones de material particulado en la etapa de recepción, mezcla y dosificación de materias primas se debe priorizar el almacenamiento de éstas en silos cerrados, así como también se recomienda el encapsulamiento de las cintas transportadoras; consiguiéndose una eficiencia cercana al 100% siendo el costo de inversión variable y en función de las características de cada instalación.
6. Con la aplicación de las técnicas antes mencionada se logrará controlar y optimizar procesos, ahorrando costos (por ejemplo con el uso de una tonelada de vidrio reciclado se ahorra 1.2 toneladas de materias primas generando ahorro en el consumo de combustibles fósiles y disminución de emisiones de CO_2)
7. Las tecnologías limpias implican lo siguiente:
 - a. Técnicas que principalmente eviten la generación de contaminantes.
 - b. Tecnologías que reduzcan los contaminantes a niveles máximos admisibles.
 - c. Implementaciones que permitan asegurar la protección ambiental generando un desarrollo industrial sostenible.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1.** Para la aplicación de tecnologías limpias en las plantas de fabricación de envase de vidrio es muy importante tener en cuenta características muy particulares de cada instalación. Por ejemplo la antigüedad de los hornos (su tiempo de vida media generalmente es de 10 a 12 años), tiempos de parada (generalmente trabajan los 365 días del año), proximidades al final de su vida útil para hacerlas coincidir con cambios técnicamente viables.
- 2.** Para el caso de la implementación de hornos de fusión eléctrica (que reduce significativamente las emisiones), es necesario realizar una evaluación del impacto ambiental sobre la producción y distribución de la electricidad en relación a la reducción de emisiones con el fin de determinar la opción que proporciona la mejor protección ambiental en conjunto.
- 3.** Se recomienda realizar un estudio sobre la capacidad de la planta en cuestión de manejo de residuos sólidos. Por ejemplo para la reducción de las emisiones de SO₂ a la atmósfera, pueden usarse lavadores secos o semisecos generándose en algunos casos residuos de escaso potencial de reciclaje, que deberán tratarse por separado.
- 4.** Se recomienda el aumento progresivo del uso de vidrio reciclado externo, ya que genera reducción en el consumo energético, menor consumo de materias primas y disminución de residuos urbanos. Asimismo incentivar la importancia del reciclaje selectivo de vidrio.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL USA (EPA USA). **Documento de Técnicas y Alternativas de Control para las Emisiones de NO_x en la industria del vidrio.** Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/glassact.pdf> artículo web. Consultada el 26 de noviembre del 2013.
- ANFEVI DE ESPAÑA. **Guía Sectorial para el suministro de Información al Registro PRTR en el sector de envases de vidrio 2008.** Disponible en: <http://www.prtr-es.es/data/images/docum-orientaci%C3%B3n-sectorial-envases-vidrio.pdf> artículo web. Consultada el 25 de febrero del 2014.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS DE FABRICACIÓN DE VIDRIO DE ESPAÑA (ANFEVI). **Informe Sectorial 2013.** Disponible en: <http://www.anfevi.com/archivos/anfeviinforme-sectorial-20131364292033.pdf> artículo web. Consultada el 20 de febrero del 2014.
- CARRANZA NORIEGA, Raymundo. **Medio Ambiente Problemas y Soluciones.** Lima. Editorial Talleres gráficos de la Universidad Nacional del Callao. Primera Edición. 2001.
- COLCIENCIAS. **Guía de ahorro de energía en la industria del vidrio.** Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/vidrio.pdf> artículo web. Consultada el 14 de enero del 2014.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE. **Guía para el control y prevención de**

la contaminación industrial para la fabricación de vidrio y productos de vidrio. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/guia-para-el-control-y-la-prevencion-de-la-contaminacion-industrial-fabricacion-de-vidrio-y-de-productos-de-vidrio>. artículo web. Consultada el 02 de enero del 2013.

- **COMUNIDAD EUROPEA. Prevención y Control Integrados de la Contaminación Documento de Referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Fabricación de Vidrio.** Disponible en: <http://www.prtr-es.es/data/images/bref-qu%C3%ADmica-org%C3%A1nica-de-gran-volumen-de-producci%C3%B3n-versi%C3%B3n-en-castellano-en-edici%C3%B3n.pdf> artículo web. Consultada el 28 de junio del 2013.
- **CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA ESPAÑA. Guía de apoyo para la notificación de emisiones del sector de fabricación de vidrios huecos.** Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Prevencion/Modelos/EPTRTR/Modelos/Guias_apoyo/Guia_%20Ep3e_Fabricacion_Vidrios_Huecos.pdf artículo web. Consultada el 15 de octubre del 2013.
- **FERNÁNDEZ NAVARRO, José M. El vidrio.** Madrid. Editorial Concejo Superior de Investigaciones Científicas. Segunda Edición. 1991.

- **FONDO MUNDIAL PARA LA NATURALEZA. Informe planeta vivo.**
 Disponible en: http://chile.panda.org/que_hacemos/planeta_vivo_2010/
 artículo web. Consultada el 02 de enero del 2013.
- **GRUPO DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Balance de masa y energía de la producción de vidrio para envases.** Disponible en:
<http://www.tecnologíaslimpias.org/html/central/362001/362001eca.htm>
 artículo web. Consultada el 02 de enero del 2013.
- **GRUPO NATURA. El ciclo de vida del vidrio.** Disponible en:
<http://www.pangea.org/cepa/frame.html>. Artículo web. Consultada el 17 de marzo del 2013.
- **MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA DE ESPAÑA. Guía tecnológica directiva 96/61 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación en la fabricación de vidrio.** Disponible en:
<http://www.prtr-es.es/data/images/gu%C3%ADa%20tecnol%C3%B3gica%20fabricaci%C3%B3n%20de%20vidrio-0d12688c194c3907.pdf>
 artículo web. Consultada el 09 de agosto del 2013.
- **MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE ESPAÑA. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio.** Disponible en: <http://www.prtr-es.es/data/images/gu%C3%ADa-mtd-en-espa%C3%B1a-sector-vidrio.pdf>. artículo web. Consultada el 21 de diciembre del 2012.

- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. **La prevención de las enfermedades profesionales.** Disponible en: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/presentation/wcms_207970.pdf. artículo web. Consultada el 22 de marzo del 2013.
- PRODUCE. **Boletín estadístico Mensual.** Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/boletines-mensuales> artículo web. Consultada el 02 de mayo del 2013.
- REVISTA ESPECIALIZADA EN SEGURIDAD, HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL DEL INSTITUTO DE SEGURIDAD MINERA. **Enfermedades respiratorias ocupacionales.** *Seguridad Minera.* N° 103: 10 a 21. Abril 2013.
- RIZZI, Paula. **La OMS presenta el primer mapa de contaminación global.** Disponible en: <http://www.tuverde.com/2011/09/la-oms-presenta-el-primer-mapa-de-contaminacion-global/>. artículo web. Consultada el 28 de diciembre del 2012.
- RODRIGUEZ, Sabrina. **Lima quiere salir del humo.** *Publimetro.* Edición N° 554: 2. Noviembre 2013.
- STRAUSS, W. **Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones.** México. Editorial Trillas S.A. Segunda Edición. 2012.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Para el análisis y medición de CO, NO_x y SO₂ se usan equipos analizadores de gases que registran in situ los valores.

REPORTE DE LOS DATOS REGISTRADOS EN UN ANALIZADOR DE GASES

E Instruments Group LLC	
Date: 12/07/2013	
Time: 11:35	
Fuel: Natural Gas	
O ₂	: 6.6 %
CO ₂	: 8.0 %
Exc. Air	: 40.77 %
Gas Temp.	: 509 °C
Air Temp.	: 34.4 °C
Diff. Temp.	: 474.6 °C
Eff. Temp.	: 68.3 %
Loss Net.	: 31.7 %
CO	: 2 ppm
NO	: 897 ppm
NO ₂	: 6 ppm
NO _x	: 903 ppm
SO ₂	: 38 ppm
T sens	: 30.8 °C

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 2

Las concentraciones de contaminantes procedentes de mediciones pueden venir expresadas en partes por millón (ppm), en este caso se deberán pasar a mg/m^3 multiplicándose por los factores de conversión dependiendo de la sustancia que se tenga¹².

FACTORES DE CONVERSIÓN PARA EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Sustancia	Factor de conversión
CO	1.25
NO ₂	2.05
SO ₂	2.86

Fuente: Guía sectorial Anfevi España, 2008.

¹² Teniendo en cuenta que en condiciones normales (1 atm. de 0 °C) el volumen que ocupa 1 mol es 22.4 l.