

Exposición a solventes orgánicos en la fabricación de productos de plástico reforzados con fibra de vidrio

ORGANIC SOLVENT EXPOSURE IN THE MANUFACTURING OF PLASTIC GLASS FIBER REINFORCED PRODUCTS.

VÍCTOR URRRA ARAUJO. Ingeniero de Ejecución en Prevención de Riesgos Profesionales.

RESUMEN

En este estudio se analiza el proceso de fabricación de sanitarios portátiles, a partir de resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio y otros reactivos, confeccionados en una empresa ubicada en la ciudad de Santiago de Chile.

Se efectúan visitas a terreno para conocer el proceso de fabricación, determinar lugar de toma de muestras y proceder al muestreo ambiental, determinando la exposición vía respiratoria y cutánea de los trabajadores a vapores de solventes orgánicos. Estos solventes afectan el sistema nervioso central e irritan las vías respiratorias, especialmente por vapores de estireno, componente principal de las resinas utilizadas.

Los muestreos ambientales y personales identifican y cuantifican los solventes orgánicos presentes en el ambiente de trabajo, detectándose: acetona, tolueno, etilbenceno, xileno y estireno; estos últimos presentaron concentraciones ambientales más altas, en las que sólo el estireno superó el Límite Permisible Temporal y el Límite Permisible Ponderado, presentando elevadas concentraciones en todos los resultados de las muestras y representando un riesgo para la salud por exposición aguda.

Se propone un sistema de extracción de solventes para corregir los problemas detectados y la utilización de elementos personales de protección para los maestros moldeadores.

(Urra A, V. Exposición a solventes orgánicos en la fabricación de productos de plástico reforzado con fibra de vidrio. *Ciencia & Trabajo* 2003 jul-dic; 5(10):33-4)

Descriptores: CONTAMINANTES OCUPACIONALES DEL AIRE; SOLVENTES; ESTIRENO-TOXICOLOGÍA; VENTILACIÓN; RIESGOS LABORALES; SEGURIDAD; PROTECCIÓN PERSONAL; CHILE.

ABSTRACT

This study analyzes the manufacturing process of portable restrooms, starting from fiber glass reinforced polyester resin and other reagents, manufactured by an enterprise located in the city of Santiago de Chile.

We visited the field to observe the manufacturing process, to determine the place of sample collection and to proceed with environmental sampling, determining the workers' respiratory and cutaneous exposure to organic solvent fumes. These solvents affect the central nervous system and injure the airways, specially styren fumes, main component of the resins applied.

The environmental and personal sampling identify and quantify the organic solvents present in the work environment, and detect: acetone, toluene, ethylbenzene, xylene and styrene; the latest showed higher environmental concentrations, in which, just styrene exceeded the Temporary Permissible Limit and the Pondered Permissible Limit, and showing high concentrations in all the sample results and representing health risk due to acute exposure.

We suggested a solvent removal system to correct the problems detected and the use of personal protection elements for the casting workers.

Descriptors: AIR POLLUTANTS, OCCUPATIONAL; SOLVENTS; STYRENE-TOXICOLOGY; VENTILATION; OCCUPATIONAL RISK; SAFETY; PERSONAL PROTECTION; CHILE.

INTRODUCCIÓN

La fabricación de productos de poliéster reforzado con fibra de vidrio presenta un uso masivo en la industria, vivienda, deportes y en otras actividades

humanas. Los productos fabricados con este método van desde paneles y estanques, hasta partes componentes de aeronaves.

La extraordinaria capacidad del plástico reforzado de reemplazar materiales tradicionales permite elaborar productos que se caracterizan por su fácil traslado, estabilidad tanto mecánica como química y bajos

costos de mantención. Sus múltiples posibilidades de aplicación, su solidez y resistencia a la corrosión, fatiga y a la tracción, lo convierten en el material idóneo para reemplazar ventajosamente al acero, la madera y a otros plásticos.

El proceso de fabricación de casetas sanitarias que se realiza a partir de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio y otros reactivos, implica exposición por vía respiratoria y cutánea de los trabajadores a vapores de solventes orgánicos, que pueden ocasionar molestias y daños en la salud, porque estos solventes afectan el sistema nervioso central e irritan las vías respiratorias, especialmente por vapores de estireno, que es el componente principal de las resinas utilizadas (13, 14, 16).

El estireno es derivado del petróleo y del gas natural; utilizado para el refuerzo de resinas que se usan en la fabricación de objetos de gran volumen, el estireno es irritante de los ojos y de la piel, puede causar quemaduras. Su vapor es irritante en una exposición prolongada y las concentraciones relativamente bajas afectan a personas asmáticas. Además, tiene un efecto narcótico (12, 15, 19).

Se pueden presentar síntomas como náuseas, vómitos, anorexia, astenia, cefalalgias e irritación de las vías respiratorias superiores, de la piel y de los ojos, los cuales desaparecen cuando se interrumpe la exposición; también afecta el sistema nervioso central. La actividad cancerígena del estireno en el hombre sigue siendo incierta.

Se han realizado varios estudios neuroconductuales en trabajadores expuestos crónicamente a estireno. La mayor parte de éstos se ha conducido en países escandinavos, en operarios que aplican resina de estireno en la fabricación de botes de fibras de vidrio.

Harkonen et al (1) y Lindstrom et al (2), utilizaron 98 trabajadores finlandeses expuestos, describieron un deterioro en su salud mediante pruebas visomotoras, psicomotoras y de atención, con relación a la concentración urinaria de ácido mandélico, que fue encontrada en orina. Se estima que 25 ppm (110 mg/m³) fue la concentración mínima en aire asociada con el deterioro de la función en este tipo de pacientes con una media de antigüedad de 5 años.

A niveles igualmente bajos (12 ppm), en otro grupo

de mayor antigüedad (media 12 años), Flodin et al, 1989 (3) reportan que 21 trabajadores expuestos tienen alta frecuencia de síntomas y alteraciones en una prueba de destreza manual. Al volver a examinar, después de un periodo de 8 meses sin exposición, encontraron que disminuye el número y frecuencia de síntomas, tales como fatiga, trastornos de memoria e irritabilidad.

Este estudio se desarrolla en una empresa ubicada en la ciudad de Santiago de Chile, dedicada a la producción de sanitarios portátiles en poliéster reforzado con fibra de vidrio (11). Se conoció el proceso de fabricación de casetas sanitarias, determinó el lugar de toma de muestras y proceder al muestreo ambiental, de tal manera que éste fuera representativo en tiempo y espacio de acuerdo con la distribución de los moldes utilizados y la ubicación del mezclador de resinas.

Además se realizaron muestreos ambientales y personales para identificar y cuantificar los solventes orgánicos que se encuentran presentes en el ambiente de trabajo. Una vez analizada la situación, con los resultados obtenidos se propuso un sistema de extracción de solventes que permita corregir los problemas detectados.

Durante el proceso de fabricación de casetas sanitarias se utilizan productos químicos que pueden presentar riesgo para la salud de los trabajadores que participan en el proceso.

Estas materias primas son dañinas para la salud de los trabajadores que las utilizan, debido a la emisión de vapores de solventes, siendo las operaciones de mayor generación de estos vapores la aplicación de resinas y el laminado. Debido a esto, debe evaluarse la exposición ambiental para el control de los riesgos, ya sea a través de medidas de ingeniería en el ambiente, medidas de protección personal a los trabajadores, cambios en los hábitos de trabajo o sustitución de materias primas (18).

En la actualidad, el proceso de fabricación de casetas sanitarias se realiza en un taller que no reúne las condiciones necesarias para realizar este tipo de trabajo, ya que el recinto corresponde a un galpón donde la ventilación al interior es deficiente y la única entrada de aire hace que los contaminantes pasen por donde se encuentran los maestros moldeadores; a esto

se agrega el desorden de las materias primas y la mala distribución de los moldes al interior del taller.

Definición de higiene industrial

De acuerdo a la American Industrial Hygiene Association, la higiene industrial es una ciencia y un arte que tiene por objeto el reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones que se originan en el lugar de trabajo y que pueden causar enfermedades, perjuicios a la salud o al bienestar, incomodidades e ineficiencia entre los trabajadores o entre los ciudadanos de la comunidad (17).

Descripción del proceso de fabricación de la caseta sanitaria

En la primera fase del proceso se utiliza cera desmoldante y alcohol polivinílico. Como siguiente paso se aplica gel coat, que se prepara mezclando las siguientes materias primas: resina isoftálica, resina viniléster, agente tixotrópico, acelerante A y monoestireno. Para finalizar el proceso se utiliza resina de poliéster insaturada, la que es preparada con las siguientes materias primas: resina ortooftálica, monoestireno, acelerante A y peróxido de metil etil cetona. En la Tabla N° 1 se encuentra la descripción de estas sustancias.

Tabla N° 1: Sustancias utilizadas en el proceso de fabricación de una caseta sanitaria

Sustancia	Descripción
Cera desmoldante	Mezcla de ceras, cera carnauba, sovasol, minerales, parafina y aditivos.
Alcohol polivinílico	Es un polímero, incoloro que se presenta amorfo, en escamas o en forma fibrosa.
Resina isoftálica	Poliéster insaturado basado en ácido isoftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno
Resina viniléster	Viniléster basado en bisfenol A epoxidado, disuelto en estireno
Agente tixotrópico	Dióxido de silicio preparado químicamente.
Acelerante A	Solución de octoato de cobalto al 6% de cobalto metálico, diluido en aguarrás.
Monoestireno	Monómero de estireno.
Resina ortooftálica	Poliéster insaturado basado en ácido ftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno
Peróxido de metiletilcetona	Líquido límpido, incoloro, constituido de peróxidos de metiletilcetona, desestabilizado con ftalatos.

En la Figura N° 1 se grafica el proceso de fabricación de casetas sanitarias, que es realizado por dos maestros moldeadores. La primera operación a realizar consiste en la preparación de la matriz, la que es limpiada con el fin de eliminar los restos de fibra de vidrio que quedan en los bordes, luego que la caseta terminada ha sido retirada de la matriz.

El siguiente paso es aplicar con un paño seco cera desmoldante a la matriz, cuya finalidad, además de proporcionar brillo al producto final, es evitar que el gel coat se adhiera a ésta. Luego, con una esponja se aplica una capa delgada y uniforme de desmoldante (alcohol polivinílico) con el fin de ayudar al desmolde de la caseta.

Una vez que el desmoldante se ha evaporado, se aplica una primera capa delgada y uniforme de gel coat, la cual se deja secar por un tiempo aproximado de 15 minutos, para luego aplicar la siguiente capa de

gel coat con la finalidad de evitar áreas transparentes.

Después que se ha secado al tacto la segunda capa de gel coat, se procede a realizar el laminado, que consiste en adaptar al molde dos capas de fibra de vidrio de filamento continuo.

Luego de ser aplicada la primera capa de fibra de vidrio de filamento continuo de 300 g/m², es impregnada con resina de poliéster insaturada, hasta que la fibra quede completamente impregnada. A continuación se aplica una segunda capa de fibra de vidrio de filamento continuo de 450 g/m², la que también es impregnada con resina de poliéster insaturada.

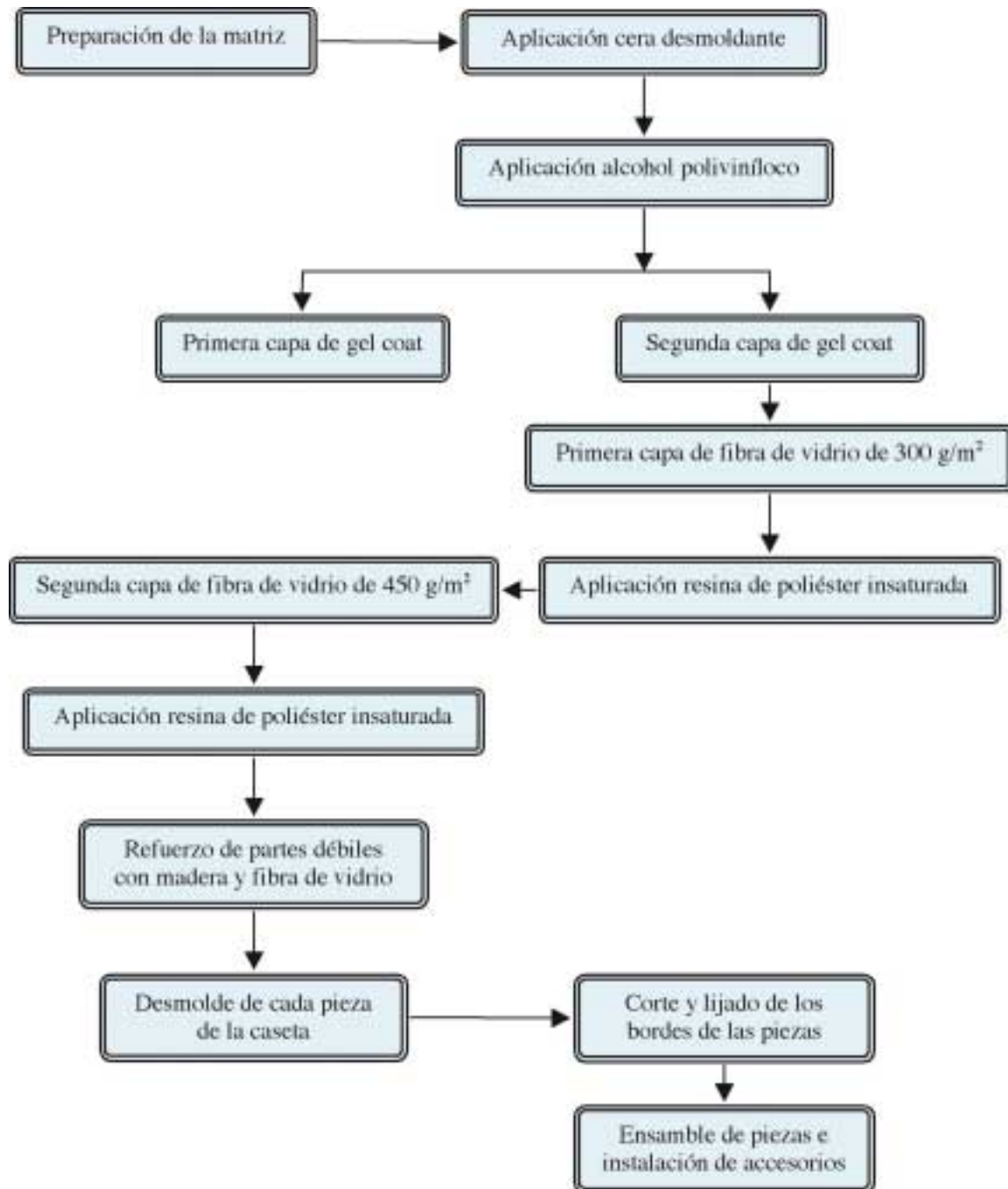
Con el fin de reforzar las partes donde se instalarán la chapa y las bisagras, se aplica una franja de fibra de vidrio de filamento continuo de 450 g/m² en los bordes de la matriz, la que también es impregnada con resina de poliéster insaturada. Posteriormente, se

aplica un refuerzo de madera a las zonas más débiles de la caseta.

Al día siguiente se realiza el desmolde de cada una de las piezas de la caseta, para volver nuevamente a repetir el proceso de moldeo. El siguiente proceso

posterior al desmolde, consiste en el corte y lijado de los bordes de cada una de las piezas, para finalizar con el ensamble de todas las piezas y la instalación de accesorios (5).

Figura N° 1: Flujograma del proceso de fabricación de casetas sanitarias (5)



MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una evaluación de la exposición a los agentes con los que un trabajador entra en contacto en el lugar o puesto de trabajo. Para ello se realizaron muestreos de diagnóstico. La incertidumbre sobre el nivel real de exposición a los agentes hace además que sea difícil cuantificar la relación existente entre la exposición y el efecto en la salud.

Determinación de los puntos ambientales a muestrear

La determinación de los puntos ambientales a muestrear tuvo como principal objetivo el obtener muestras representativas de la exposición a la que se encuentran sometidos los trabajadores; para ello se determinó que los sectores en los cuales se produce la mayor emanación de vapores de solventes son: Sector nor-oriente, nor-poniente y sur del taller.

Se debe destacar que en el taller de moldeo no existe ventilación forzada, sólo ventilación natural.

Determinación de los trabajadores a muestrear

La selección de los trabajadores a muestrear se realizó tomando a los dos únicos maestros moldeadores que participan directamente en el proceso de moldeo, basándose en el siguiente procedimiento (6):

- Muestrear al trabajador que se presume tiene la más alta exposición al agente.
- Si existen diferentes procesos, seleccionar los de más alta exposición en cada uno.
- De acuerdo al resultado obtenido, extender el muestreo a la totalidad de los trabajadores, o bien paralizar el muestreo hasta una nueva ocasión, ante cambios en el proceso o de las medidas de control.

Algunas directrices para encontrar a los trabajadores de más alta exposición son:

- Distancia de la fuente generadora del agente. Puede haber dilución por dispersión en el área de trabajo.
- Movilidad del trabajador: Esto puede motivar que el trabajador no se encuentre presente cuando existan concentraciones altas en la fuente generadora del agente.
- Movimiento del aire. Generalmente, en procesos que envuelven calor o combustión,

la circulación del aire puede ser tal, que el trabajador a la máxima concentración puede estar ubicado a una distancia considerable de la fuente. Se debe tener en cuenta además los sistemas de extracción, las puertas y ventanas.

- Diferentes hábitos de trabajo. Incluso cuando varios trabajadores efectúan la misma labor con los mismos materiales, sus hábitos individuales pueden producir variación en los niveles de exposición.
- Tiempo de exposición. Esta variable es fundamental al momento de considerar qué trabajadores se van a muestrear.
- Errores que se pueden cometer. No debe sacarse un promedio de las exposiciones individuales de cada trabajador. Sólo cuando la desviación geométrica estándar (D.G.S.) sea muy pequeña, puede asignarse un promedio del grupo a cada trabajador con un error de menos 20%.

Tiempo de exposición de los trabajadores

El tiempo de exposición de los maestros moldeadores a los solventes es de 6 horas diarias, las que consideran el tiempo que demoran en moldear dos casetas, 2 horas aproximadamente, durante las cuales se producen los peak más altos de emisión, debido a la aplicación de gel coat y del laminado.

Determinación del tiempo de muestreo

El tiempo de muestreo fue determinado de acuerdo al tipo de contaminante a evaluar (solventes orgánicos), al medio colector utilizado que en este caso fue carbón activado, y al flujo de las bombas de muestreo portátil que es de 60-70 cc/min, tomando en cuenta las condiciones ambientales que se presentaron en las dos tomas de muestras realizadas, una en el año 2001 y otra en el año 2002, en cada ocasión fueron días con temperatura ambiental diferente, ya que en el año 2001 hubo una temperatura ambiental aproximada de 15°C al momento de realizar el muestreo, iniciado a las 09:00 AM, y el año 2002 hubo una temperatura ambiental aproximada de 20°C, comenzando el muestreo a las 11:00 AM, con viento moderado en ambas ocasiones.

Además de los aspectos ya señalados, los dos maestros moldeadores se encontraban trabajando y

utilizando todos los moldes disponibles en el interior del taller (10 moldes). También se observaron otros aspectos importantes tales como los tambores de resina, monoestireno y el mezclador de resinas, que se encontraban destapados o mal tapados, los que aportan más vapores al ambiente de trabajo. Todo esto con el fin de evitar la saturación de las muestras.

Por esta razón, se decidió muestrear un tiempo aproximado de acuerdo con el período que tardan los maestros en moldear utilizando los diez moldes, aproximadamente 120 minutos, durante el cual se produce la mayor generación de vapores de solventes.

Las muestras de quince minutos fueron tomadas en el momento en que se producen las emisiones más altas, al aplicar el gel coat y la resina, con el fin de poder calcular el Límite Permissible Temporal (LPT) de las sustancias que poseen.

Proceso de muestreo

El equipo consistió en bombas de muestreo portátil, porta tubos, mangueras de conexión, un corta tubos, tubos de carbón activado, tarros y frascos de vidrio para tomar muestras líquidas de los solventes. Una vez que los equipos se encontraban en la sección de moldeo, se procedió a armarlos e instalarlos.

Tiempos de muestreo

Los tiempos finales en que se tomaron las muestras son los indicados en la Tabla N° 2.

Durante la toma de muestras se realizó la siguiente

Tabla N° 2: Tiempos finales en que se tomaron las muestras

Muestra N°	Tipo	Tiempo en minutos
1	Personal a maestro moldeador 1	54
2	Personal a maestro moldeador 2	120
3	Personal a maestro moldeador 1	57
4	Personal a maestro moldeador 2	79
5	Personal a maestro moldeador 1	15
6	Personal a maestro moldeador 2	15
7	Personal a maestro moldeador 1	15
8	Personal a maestro moldeador 2	15
9	Ambiental sector nororiental del taller	120
10	Ambiental sector suroriental del taller	112

operación:

- Durante las muestras personales se aplicó gel coat y resina con rodillo.
- Muestra ambiental sector nor-oriental del taller; en este sector no se realizaba ninguna operación de moldeo, sólo se encuentra cerca la zona de preparación de resinas.
- Muestra ambiental sector sur-oriental del taller; en este sector se realiza el lavado y estruje de los rodillos con diluyente poliéster.

Referencia legal

La referencia legal está señalada en el Decreto Supremo N°594, sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo (7).

En su Título IV, “de la contaminación ambiental”, Párrafo I, sobre disposiciones generales, se señala:

- Art. 55. Los límites permisibles de aquellos agentes químicos y físicos capaces de provocar efectos adversos en el trabajador serán, en todo lugar de trabajo, los que resulten de la aplicación de los artículos siguientes.
- Art. 56. Los límites permisibles para sustancias químicas y agentes físicos son índices de referencia del riesgo ocupacional.
- Art. 57. En el caso en que una medición representativa de las concentraciones de sustancias contaminantes, existentes en el ambiente de trabajo o de la exposición a agentes físicos, demuestre que los valores que se establecen como límites permisibles han sido sobrepasados, el empleador deberá iniciar de inmediato las acciones necesarias para controlar el riesgo, sea en su origen, o bien, proporcionando protección adecuada al trabajador expuesto. En cualquier caso el empleador será responsable de evitar que los trabajadores realicen su trabajo en condiciones de riesgo para su salud.

El Párrafo II, “de los contaminantes químicos”, establece:

- Art. 60. El promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos no deberá superar los límites permisibles ponderados (LPP) establecidos en

el artículo 66° del presente reglamento. Se podrán exceder momentáneamente estos límites, pero en ningún caso superar cinco veces su valor. Con todo, respecto de aquellas sustancias para las cuales se establece además un límite permisible temporal (LPT), tales excesos no podrán superar estos límites.

Tanto los excesos de los límites permisibles ponderados, como la exposición a límites permisibles temporales, no podrán repetirse más de cuatro veces en la jornada diaria, ni más de una vez en una hora.

- Art. 61. Las concentraciones ambientales de las sustancias capaces de causar rápidamente efectos narcóticos, cáusticos o tóxicos, de carácter grave o fatal, no podrán exceder en ningún momento los límites permisibles absolutos indicados para ellos.

RESULTADOS

Los límites permisibles para las sustancias detectadas se describen en la Tabla N° 3.

Notas:

Tabla N° 3: Límites permisibles de las sustancias, según decreto supremo N° 594 art. 66°.

Sustancia química	LPP (mg/m ³)	LPT (mg/m ³)	Observación
Acetona	1424	2380	A.4
Estireno	170	425	Piel – A.4
Etilbenceno	348	543	---
Tolueno	300	---	Piel
Xileno	347	651	---

- Las sustancias anteriormente señaladas no tienen “límite permisible absoluto”, conforme al artículo 61° del Decreto Supremo N° 594.
- LPP: Límite Permisible Ponderado (8 horas).
- LPT: Límite Permisible Temporal (15 minutos).
- Piel: Son aquellas sustancias que pueden ser absorbidas a través de la piel humana. Con ellas deberán adoptarse todas las medidas necesarias para impedir el contacto con la piel de los trabajadores y se extremarán las medidas de protección y de higiene personal.
- A.4: Sustancias que se encuentran en estudio, pero no se dispone aún de la información válida que permita clasificarlas como cancerígenas para el ser humano o para animales de laboratorio, por lo que la exposición de los trabajadores a ambos tipos de ellas deberá ser mantenida en el nivel más bajo posible.

Tabla N° 4: Muestras personales a ponderar 8 horas.

Sustancia	LPP mg/m ³	Muestra N°1mg/m ³	Muestra N°2mg/m ³	Muestra N°3mg/m ³	Muestra N° 4mg/m ³
Acetona	1424	< 71	< 71	< 71	< 71
Estireno	170	377	473	275	387
Etilbenceno	348	< 17	< 17	< 17	< 17
Tolueno	300	< 15	< 15	< 15	< 15
Xileno	347	69	70	48	82

Muestreo realizado en octubre del año 2002

El análisis químico de las muestras personales en-

tregó los siguientes resultados, reflejados en las Tablas N° 4 y 5.

Tabla N° 5: Muestras personales de 15 minutos.

Sustancia	LPT mg/m ³	Muestra N° 5mg/m ³	Muestra N° 6mg/m ³	Muestra N° 7mg/m ³	Muestra N° 8mg/m ³
Acetona	2380	< 71	—	—	—
Estireno	425	350	478	211	262
Etilbenceno	543	< 17	< 17	—	< 17
Xileno	651	60	54	26	54

Nota: (—) no se detectó concentración en la muestra respectiva.

Efectos combinados

Para evaluar el efecto combinado se determinó que todas las sustancias interactúan en efectos similares se-

gún los antecedentes de los agentes muestreados; los resultados se encuentran en la Tabla N° 6.

Tabla N° 6: Resultados de los efectos combinados.

Sustancia	LPPmg/m ³	Muestra N° 1 dividido por LPP	Muestra N° 2 dividido por LPP	Muestra N° 3 dividido por LPP	Muestra N° 4 dividido por LPP
Acetona	1424	0,05	0,05	0,05	0,05
Estireno	170	2,2	2,8	1,6	2,3
Etilbenceno	348	0,05	0,05	0,05	0,05
Tolueno	300	0,05	0,05	0,05	0,05
Xileno	347	0,2	0,2	0,1	0,2
Resultado		2,55	3,15	1,85	2,65

Análisis de resultados

- De acuerdo con los resultados obtenidos al comparar el límite permisible ponderado de las sustancias señaladas con los valores obtenidos en la toma de muestras, se puede indicar que en las muestras números 1-4, sólo la sustancia estireno se encuentra sobre el límite permisible ponderado correspondiente.
- Las diferencias en los valores de las muestras entre cada maestro moldeador se asocia a un factor físico que diferencia a un maestro del otro, que en este caso es la estatura, ya que el maestro moldeador 1 es más alto que el maestro moldeador 2. Esto permite, en alguna medida, que el maestro 1 aleje sus vías respiratorias y el equipo de muestreo de la fuente de generación.
- Al observar los resultados de las muestras números 1-4, se puede apreciar que las concentraciones de las sustancias acetona, tolueno y etilbenceno presentan el mismo valor, lo que indica que además de estar bajo los límites permisibles ponderados, las

concentraciones son inferiores al valor del nivel de detección del método de análisis y que, por lo tanto, al momento de la evaluación no representaban riesgo para la salud de los trabajadores.

- Al comparar el límite permisible temporal de las sustancias encontradas con los valores obtenidos en la toma de muestras, se puede señalar que sólo en la muestra número 6 el estireno se encuentra sobre el límite permisible temporal.
- La muestra número 6 corresponde al maestro moldeador 2, quien es de menor estatura que el maestro moldeador 1, lo que nos demuestra que el factor físico de un trabajador en un proceso de muestreo influye en los resultados obtenidos.
- En las muestras personales de 15 minutos se obtuvo valores similares a las muestras personales de mayor tiempo, por lo que se establece que la mayor generación de solventes se produce durante la aplicación del gel coat y la resina, momento durante el cual se

tomaron las muestras de 15 minutos, paralelas a las muestras de mayor tiempo que abarcaron el momento de emisión más alto y tiempo de secado.

- Los resultados de los efectos combinados para las sustancias encontradas en las muestras personales números 1-4 nos indican que, al sumar las fracciones de cada concentración, éstas superan la unidad, razón por la cual se concluye que se encuentran sobre los límites permisibles ponderados.

Muestras ambientales

El análisis químico de las muestras ambientales entregó los resultados expresados en la Tabla 7.

Tabla N° 7: Resultados muestras ambientales.

Sustancia	LPP mg/m ³	Muestra N°9mg/m ³	Muestra N°10mg/m ³
Acetona	1.424	< 71	< 71
Estireno	170	74	119
Etilbenceno	348	< 17	< 17
Tolueno	300	< 15	< 15
Xileno	347	< 17	41

Efectos combinados

Para evaluar el efecto combinado se determinó que todas las sustancias interactúan en efectos similares, según los antecedentes de los agentes muestreados. Los resultados se expresan en la Tabla 8.

Tabla N° 8: Resultados de los efectos combinados de las muestras ambientales.

Sustancia	LPP Mg/m ³	Muestra N° 9 dividido por LPP	Muestra N° 10 dividido por LPP
Acetona	1.424	0,05	0,05
Estireno	170	0,4	0,7
Etilbenceno	348	0,05	0,05
Tolueno	300	0,05	0,05
Xileno	347	0,05	0,1
Resultado		0,6	0,95

- Los resultados obtenidos en las muestras números 9 y 10 indican que las concentraciones de las sustancias se encuentran bajo el límite permisible ponderado.

Aun cuando se detectó en la muestra número 10, ubicada en la zona de lavado y estruje dentro del taller, las concentraciones más altas de xileno y estireno.

- Las concentraciones, de xileno y estireno que arrojaron valores más altos se deben principalmente a la ubicación de la muestra, donde la circulación de aire es casi nula, además de encontrarse en medio de los dos moldes de casetas, lo que aumentó la concentración de estireno.
- Los resultados de los efectos combinados de las muestras ambientales nos señalan que los valores obtenidos de la suma de las fracciones de las concentraciones ambientales no superan la unidad, por lo que se encuentran bajo la consideración de los efectos combinados.
- Al observar las concentraciones de las sustancias acetona, tolueno y etilbenceno, se aprecia que presentan el mismo valor, al igual que en las muestras personales números 1 - 4, lo que indica que, además de estar bajo los límites permisibles ponderados, las concentraciones son inferiores al valor del nivel de detección del método de análisis y que, por lo tanto, al momento de la evaluación no representaban riesgo para la salud de los trabajadores.
- Las concentraciones de los efectos combinados obtenidas en las muestras números 1 - 4, al igual que la concentración de estireno obtenida en la muestra número 6, superan los límites permisibles ponderados y temporal respectivamente, por lo que se hace necesario implementar un encerramiento de tipo cabina para controlar la exposición de los trabajadores.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos, las labores con mayor riesgo de provocar daño a la salud de los trabajadores son las siguientes:

- Aplicación de gel coat con rodillo, durante el inicio de la operación de moldeo.
- Aplicación de resina con rodillo, durante el laminado.

DISCUSIÓN

Se puede indicar que dentro de los solventes identificados en el proceso, el más importante, debido a la concentración ambiental que presentó en los resultados, es el estireno, que está directamente relacionado con la resina utilizada, porque su principal componente es este solvente.

No obstante los otros solventes encontrados durante la evaluación, como lo son el xileno y el tolueno, no tienen directa relación con el proceso de fabricación de productos de plástico reforzado con fibra de vidrio, ya que aldaño al taller de producción se realizaban labores de pintado por aspersión de sanitarios, lo que tendría relación directa con este proceso, pues para la producción de pinturas se utilizan diferentes grupos de solventes orgánicos en las diferentes etapas de su fabricación, donde la mayor importancia la reviste el grupo integrado por el tolueno, xileno, metiletilacetona (MEC) y metilisobutilcetona (MIBC), que se utilizan como diluyentes o modificadores de la viscosidad de las pinturas.

Todos los solventes encontrados pueden producir trastornos en la salud de los trabajadores expuestos, por su gran afinidad con los tejidos ricos en grasas, como el sistema nervioso central (SNC), y en sus propiedades físico-químicas (volatilidad, bajo punto de ebullición) que facilitan su absorción –Axelson, Hogstedt, 1994 (8); Zinder, Andrews, 1996 (9).

Probablemente, el sistema de control propuesto sólo es una parte de la solución del problema, ya que existen otras variables a considerar, como lo es el entrenamiento continuo del personal y el conocimiento de los riesgos a los que se exponen, además de una adecuada mantención del sistema propuesto.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Se propone una cabina de moldeo con sistema de extracción.

Descripción del sistema propuesto

De acuerdo con las dimensiones de los moldes y con la disponibilidad de espacio en la empresa, se dispondrá de una cabina de 4,5 m de ancho, 3,5 m de alto y 6,95 m de largo, en la que se podrán moldear hasta cuatro piezas de una vez, dependiendo de la necesidad y el tamaño de los moldes, más el mezclador

de resinas, debido a que no se pueden conservar las dimensiones originales del taller, porque el flujo que se necesitaría para extraer los solventes provocaría molestias al trabajador.

Este encerramiento tendrá una zona de acceso por donde ingresarán los maestros moldeadores y el aire fresco de ventilación. El aire, libre de agentes tóxicos, se hará ingresar a un flujo de 17.000 pie³/min (28.880 m³/h) para generar una velocidad del orden de 100 pie/min (0,5 m/s), que permitirá arrastrar los vapores hacia el fondo de la cabina hasta el plenum, que estará compuesto por un panel con 21 celosías. La cabina se propone de flujo horizontal.

El control se logrará asociando a este flujo un procedimiento de moldeo que siempre ubique al trabajador en la zona de aire fresco.

La estructura de la cabina debe disponer de ventanas para permitir luz natural y contacto visual desde y hacia la cabina, así como dos puertas laterales de escape. Estas puertas deberán tener sistema de cierre automático y un sistema de cierre que permita un buen ajuste en su contorno para impedir el ingreso de aire falso por imperfecciones en el sello.

Una vez que se ha moldeado, se propone mantener las piezas dentro de la cabina para el secado, manteniendo un régimen de ventilación menor que el usado en el proceso de moldeo, dado que no se tendrán personas en el interior de la cabina.

Para este ciclo de secado se recomienda reducir el flujo de aire a 3.000 m³/h, lo que genera una tasa de ventilación de 20 renovaciones por hora. Para lograr este flujo se propone disponer de un sistema de reducción de la velocidad de giro del ventilador y obtener el caudal para el ciclo de secado. Para moldear nuevamente, se deberá reponer el régimen de ventilación.

Ventilador

El ventilador deberá permitir trabajar en las condiciones de moldeo y secado.

Para las condiciones de moldeo se requiere un ventilador con las siguientes características (16):

Tipo: Centrifugo con motor externo de accionamiento indirecto.

Caudal a mover: 17.000 pie³/min (28.880 m³/h).

Presión total: 0,8" c.a.

Aire de reposición

La ubicación de la cabina será de sur a norte, con entrada hacia el norte, porque en esta dirección se presentan fuentes de aire natural para la reposición del aire extraído por el sistema.

Ruido

Cuando el sistema esté en funcionamiento no se deberán generar ruidos de más de 85 dB(A) en los

lugares de trabajo y en la comunidad se podrán producir de entre 45 a 70 dB(A), en relación con la zona donde se encuentra ubicada la empresa y su horario de funcionamiento.

Planos de la cabina de moldeo

En las figuras N° 2 a 5, a continuación, se detalla el modelo de la cabina de moldeo.

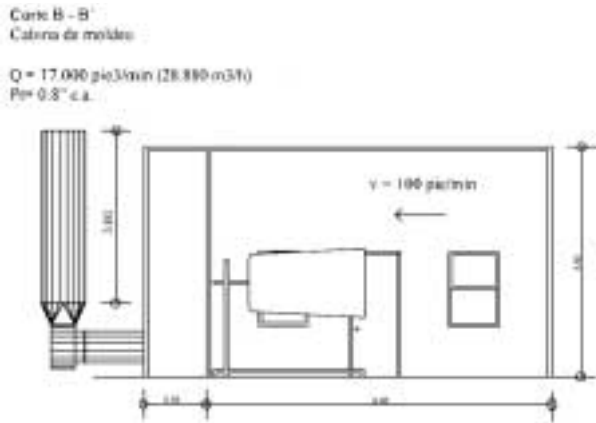


Figura N° 2, corte B de la cabina de moldeo.

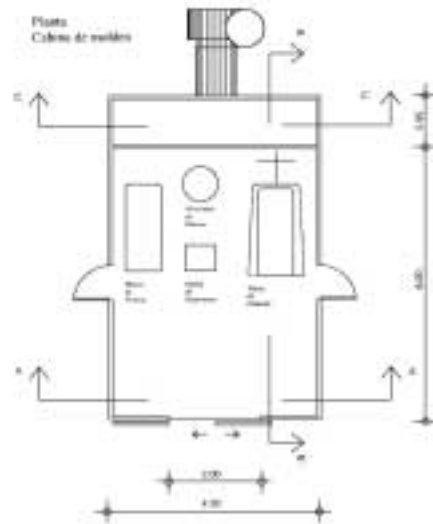


Figura N° 3, vista planta

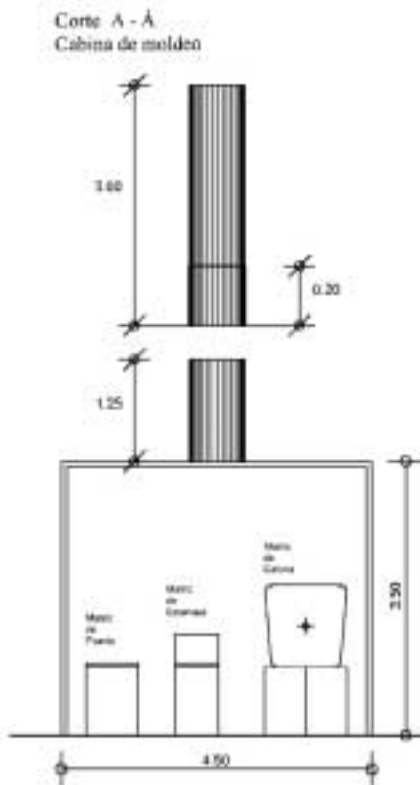


Figura N° 4, corte A de la cabina de moldeo.

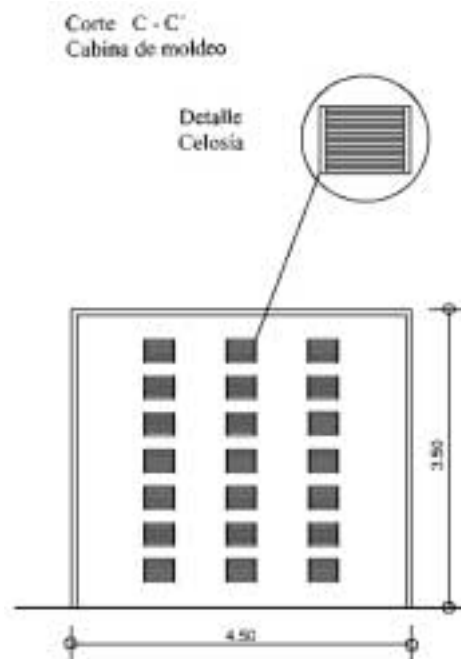


Figura N° 5, corte C de la cabina de moldeo.

RECOMENDACIONES

Una vez implementadas las medidas ingenieriles, se deberán realizar nuevas evaluaciones ambientales para verificar si se ha controlado el riesgo en los límites que la Ley indica, según Decreto Supremo N° 594 Artículo 66.

Considerando que los materiales usados para moldear tienen características inflamables, es necesario eliminar el riesgo de incendios y/o explosiones, utilizando materiales de construcción de la estructura y paredes de la cabina de moldeo de tipo resistente al fuego, tales como placas metálicas. Las luminarias deben ser selladas, a prueba de explosiones, y se debe evitar la presencia de interruptores eléctricos, máquinas o equipos que generen arcos eléctricos, chispas o temperaturas en el interior de la cabina, que puedan activar una eventual mezcla explosiva aire-vapor orgánico.

Todas las uniones de estructuras y ductos, así como roturas e imperfecciones, que presente el sistema propuesto deben ser selladas para impedir el ingreso de aire falso, puesto que de ocurrir reducirán la velocidad de control proyectada.

Se deben implementar, además, otras medidas de control que tienen relación con la implementación de un trabajo de nula o mínima emisión y exposición: laminar sólo dentro de la cabina, mantener las piezas moldeadas dentro de la cabina durante todo el tiempo de secado, efectuar limpieza y preparación de resinas dentro de la cabina, mantener en funcionamiento la ventilación, mantener una posición alejada de la superficie de aplicación y recibir siempre aire fresco durante el laminado, manteniendo una posición a favor del viento.

En el intertanto, para disminuir el ingreso de los tóxicos encontrados en la evaluación ambiental (acetona, estireno, etilbenceno, tolueno, xileno) al organismo de los trabajadores expuestos, es conveniente implementar las siguientes medidas de protección personal, en faenas de producción y preparación de materias primas (16):

- Equipo respirador purificador de aire de medio rostro, con doble filtro para vapores orgánicos, los cuales deben ser reemplazados antes de su colmatación. Se sugieren dos tipos de respiradores de la Serie 6000 y 7000 de 3M,

cuyos filtros son respectivamente 6.001 y 7.251 para vapores orgánicos de 3M (10).

- Guantes químicamente resistentes, tales como los de neopreno, con forro interior de algodón y reforzados en palma y dedos.
- Gafas de seguridad contra salpicaduras de químicos e impacto, las cuales deben ser de amplia visión, antiempañantes y ajustables al rostro. Se sugiere goggle serie 160 de Encon.
- Se debe utilizar ropa protectora, del tipo slack u overall (overol) largo de mangas y pantalones, con cierre hermético (velcro) o eclair plástico en cuerpo, puños y tobillos.

Los tarros de resina, solventes, diluyente y otros elementos de base, se deberán guardar cerrados, herméticos en una bodega predispuesta para el almacenamiento de las materias primas, la que deberá poseer buena ventilación natural y estar construida de materiales resistentes al fuego. Los envases vacíos se deberán eliminar (desechar) cerrados y rotulados (nombre del producto que contenía).

CONCLUSIONES

Realizada la evaluación ambiental en la sección de moldeo de casetas sanitarias, las sustancias químicas encontradas fueron cinco: acetona, tolueno, etilbenceno, xileno y estireno, dentro de las cuales el xileno y el estireno presentaron las concentraciones ambientales más altas, en las que sólo el estireno superó los límites permisibles, razón por la cual al realizar el cálculo de los efectos combinados de las muestras números 1-4, tomadas el año 2002 éstas superan la unidad. Esto indica que podría existir riesgo para la salud de los trabajadores de la sección de moldeo que se encuentran expuestos a los vapores de las sustancias encontradas. Si se realiza un muestreo estadístico y los resultados de este muestreo son similares a los obtenidos en la toma de muestras realizada, ya que con un solo muestreo se puede suponer que las concentraciones se mantienen durante la semana en esos niveles, pero no se puede asegurar que esto sea así.

La sustancia que representa un mayor riesgo para la salud de los trabajadores es el estireno, el cual presenta elevadas concentraciones en todos los resultados de las muestras, debido a que la resina

utilizada contiene entre sus componentes principales este elemento. Éste fue el agente de riesgo en el que individualmente las mediciones ambientales superaron el límite permisible temporal (muestra personal número 6 de 15 minutos) y el límite permisible ponderado (muestras números 1-4). Ello significa que, de acuerdo a los resultados de la muestra número 6, los maestros moldeadores expuestos podrían tener mayor riesgo de presentar efectos negativos para la salud, por lo que el trabajador podría presentar síntomas por exposición aguda si no utiliza elementos de protección personal adecuados al riesgo (puede sufrir efectos agudos en su salud por la exposición a estireno).

Para lograr un conocimiento real de la situación en el ambiente de trabajo se debe realizar un muestreo estadístico, el que no pudo efectuarse en este caso por falta de tiempo y de disponibilidad de equipos. Si en este muestreo estadístico se presentan resultados similares a los obtenidos el año 2002, entonces se podría implementar la cabina de moldeo propuesta, en la cual se debe imponer un flujo de arrastre del orden de 100 pie/min (0,5 m/s), que asegure que los contaminantes no llegarán a las vías respiratorias del trabajador. Mientras se realiza este muestreo se deben implementar medidas de protección personal y administrativas para evitar el riesgo.

REFERENCIAS

1. Harkonen H, Lindstrom K, Seppalainen AM, Asp S, Hernberg S. Exposure-response relationship between styrene exposure and central nervous functions. *Scand J Work Environ Health*. 1978 Mar; 4(1):53-9.
2. Lindstrom K, Harkonen H, Mantere P. Alcohol consumption and tolerance of workers exposed to styrene in relation to level of exposure and psychological symptoms and signs. *Scand J Work Environ Health*. 1978; 4 Suppl 2:196-9.
3. Flodin U, Ekberg K, Andersson L. Neuropsychiatric effects of low exposure to styrene. *Br J Ind Med*. 1989 Nov; 46(11):805-8.
4. Maizlish N, Feo O. Alteraciones neuropsicológicas en trabajadores expuestos a neurotóxicos. *Rev en Salud de los Trabajadores*. 1994; 2(1):5-34.
5. Romero, G. Aplicaciones Técnicas en Moldeo y Matricería. Santiago, Chile: Departamento de Producción DISAL, 2000.
6. Instituto de Salud Pública, Chile. Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional. Santiago, Chile: ISP, 1997. cap. IX, pp: 131-132.
7. Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 29 de abril de 2000.
8. Axelson, O; Hogstedt C. The Health Effects of Solvents. In: Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP. eds. *Occupational Medicine*. 3rd ed. St-Louis: Mosby-Year Book, 1994. pp. 764-778.
9. Snyder RS, Andrews LS: Toxic effects of solvents and vapors. In: Klassen's Casarett and Doull's Toxicology. 5th ed. McGraw-Hill; 1996.
10. Manual de Fichas Técnicas. Santiago, Chile, 3M Seguridad Industrial, 2001.
11. Urrea Araujo, V. Exposición a Solventes Orgánicos en la Construcción de Casetas Sanitarias. Proyecto presentado para optar al Título de Ingeniería de Ejecución en Prevención de Riesgos Profesionales. Profesor Guía: Moreno Maturana, Gabriela. Santiago, Chile: Instituto Profesional ACHS, 2003.
12. Styrene (ICSC: 0073 1994). International Programme on Chemical Safety, Commission of the European Communities, 1999. [en línea] Disponible en Internet: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0073.htm> [Consulta: 06/01/2002]
13. Rueda, E. Amenaza potencial [en línea] Disponible en Internet: solventes para la salud y la productividad. Parte 1. <http://www.pharma-portal.com.ar/areaseg05.htm>[Consulta: 10/12/2001].
14. Rueda, Enrique E. Amenaza potencial de los solventes para la salud y la productividad. Parte 2. [en línea] Disponible en Internet: <http://www.pharma-portal.com.ar/areaseg06.htm> [Consulta: 15/12/2001].
15. Niosh Pocket Guide to Chemical Hazards. Styrene. [en línea] Disponible en Internet: <http://www.cepis.ops-oms.org/> [Consulta: 6/01/2002]
16. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid, Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, OIT, 1998.
17. Manual de Higiene Industrial. 4^a.ed. Madrid, MAPFRE, 1999.
18. Domínguez. Productos para la fabricación de materiales compuestos: ficha de seguridad para recubrimientos, y materiales relacionados. 1999. [en línea] Disponible en Internet:<http://www.chemia.com.ar/fichade.htm> [Consulta: 6 /01/2002].
19. BASF. Información Técnica: s.l., BASF División Resinas, 1992.