

## DISEÑO Y DESARROLLO DEL TUBO DE TÓRAX\*

Martha Ruth Manrique Torres\*\*

Luis Jorge Lombana\*\*\*

**Resumen:** este artículo hace referencia al proceso interdisciplinario entre el Departamento de Procesos Productivos de la Facultad de Ingeniería y el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Javeriana para el diseño y desarrollo de productos quirúrgicos. En él se llevan a cabo las diferentes fases del proceso de diseño en ingeniería. Se presenta aquí el proceso seguido para el diseño del prototipo del tubo de tórax para el drenaje de fluidos de la cavidad pleural.

**Palabras clave:** cirugía, tórax, intrapleural, pleurales, drenaje, tubo de tórax.

**Abstract:** This paper does reference to the interdisciplinary process among the Department of Productive Processes of the School of Engineering and the Surgery Department of the School of Medicine of the Pontificia Universidad Javeriana for the design and development of quirurgical elements. The different phases of the engineering design process are applied and implemented. The design process for the development of a prototype of a torax pipe that allows the drainage of fluids of the cavity pleural is showed.

**Key words:** surgery, thorax, intrapleural, pleurales, drainage, torax pipe.

\* Fecha de recepción: 20 de octubre de 2003. Fecha de aceptación para publicación: 1o de diciembre de 2003.

\*\* Licenciada en mecánica y dibujo técnico de la Universidad Pedagógica Nacional. Especialista en manejo y programación de máquinas con control numérico, Servicio Nacional de Aprendizaje. Magister en educación, Pontificia Universidad Javeriana. Profesora instructora del Departamento de Procesos Productivos de la Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: smanriq@javeriana.edu.co.

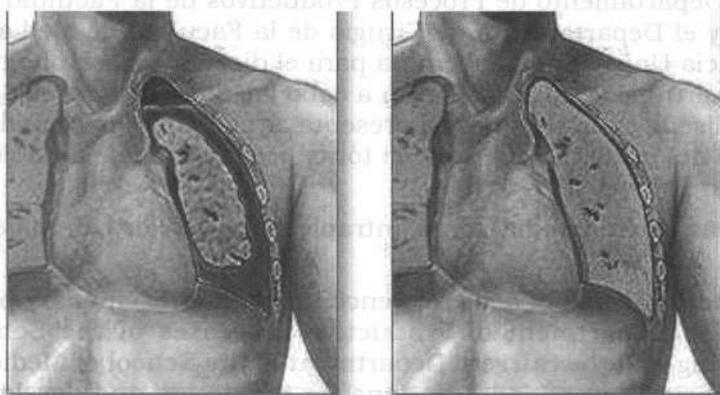
\*\*\* Médico cirujano de la Pontificia Universidad Javeriana. Especialista en proctología de la Universidad de Guadalajara. Profesor del Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: ljombana@hotmail.com.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tubo de tórax, un elemento aparentemente tan simple, tiene la mayor importancia en la evolución de la totalidad de las enfermedades pleurales y en muchas de las pulmonares, especialmente en aquellas que comprometen la pleura o requieren intervención quirúrgica.

La acumulación de fluidos en la pleura se presenta por varios factores; los más comunes son de orden patológico, o se pueden presentar después de la cirugía de tórax. La invasión del espacio pleural ocasiona una descompresión que lleva al colapso del pulmón y es en este momento cuando se requiere el uso de un sistema que permita el restablecimiento de la presión intrapleural negativa mediante el drenaje de los fluidos acumulados (Figura 1) [Hood, 1985]. Para llevar a cabo este procedimiento se emplean los tubos de tórax.

Figura 1. Sistema para el drenaje de los fluidos acumulados en la región pleural.



Antes

Después

Fuente: [Hood, 1985].

Históricamente el uso del tubo de tórax se remonta a Hipócrates, quien en el año 2000 a. C., fue el primero en drenar un empiema del tórax aplicando principios de la física del momento; sin embargo, el tubo de tórax como tal fue usado por primera vez en 1825 por Jackson en Philadelphia; en 1876 Hewitt describió el uso del drenaje cerrado; la trampa de agua, descrita hasta 1911 por Kenyon para el drenaje e irrigación de empiemas, sólo llegó a ser reconocida y aplicada en otros tipos de procedimientos torácicos varias décadas después [Sommer y Faber, 1996].

## 2. DESARROLLO DEL PROCESO DE DISEÑO

La importancia del desarrollo del nuevo tubo de tórax radica en el elevado uso que tiene, pues del 20 al 40% de los pacientes con traumas múltiples presentan complicaciones en la región del tórax. De

estos casos, la gran mayoría es atendida mediante la colocación del tubo de tórax y el debido control médico. La incidencia de empiema torácico después de la colocación del tubo de tórax varía de 1 a 3%. Las complicaciones relacionadas con la colocación, el retiro del tubo y con los sistemas de drenaje que se han informado en pacientes con trauma de tórax son del 36% [Cantú, 2002].

Los casos reportados acerca de las complicaciones presentadas con el uso del tubo de tórax actual (Figura 2) proporcionan datos de valiosa importancia para el diseño y desarrollo del nuevo tubo, el cual es requerido en complicaciones de tórax como hemotórax<sup>1</sup> en sus diferentes manifestaciones (espontáneo, recidivante y tensión o sofocante).

Figura 2. Tubo de tórax actualmente utilizado en procedimientos quirúrgicos.



Fuente: [los autores].

Como característica funcional los tubos de tórax deben ser flexibles, atóxicos y sus paredes deben ser lisas y transparentes, de tal forma que no se obstruyan ni se deformen y, además, permitan visualizar los fluidos transportados por su interior, es decir translúcidos y por conveniencia médica en color cristal (sin pigmentos). Los materiales empleados en su fabricación varían desde los compuestos a partir de siliconas, hasta el cloruro de polivinilo en sus variedades atóxicas [Mink, 1990].

El producto no debe afectar el organismo humano, es decir, debe poseer características químicas neutras frente a los líquidos corporales como sangre y sudor, entre otros, de tal manera que no dañe los tejidos que van a estar en contacto al hacer reacción química. Estas características se deben garantizar en la selección del material en que se elaborará el tubo de tórax.

A fin de dar al nuevo producto las características requeridas se debe hacer una adecuada selección de materiales y para conseguirlo es indispensable realizar un análisis de los materiales de productos similares existentes en el mercado, que cumplan con las características de flexibilidad y neutralidad. El material en que están construidos los tubos de tórax es *silastic* o *silopren*, nombre comercial de un polímero derivado de la silicona.

Este polímero es un elastómero sintético relativamente caro que se utiliza en una gran variedad de productos, dependiendo de su formulación y aplicación. Su color natural es blanquecino /amarillento pero algunas formulaciones suelen incluir cargas coloreadas opacas. Sus características y propiedades se conservan invariables a temperaturas altas y bajas, su resistencia química y a los rayos UV es excelente, pero

<sup>1</sup> Se define como la entrada o introducción, natural o provocada, de aire en la cavidad de la pleura, es decir, en el espacio virtual entre el pulmón y la pleura de la pared del tórax.

es propenso a hidrólisis (lenta) en vapor de alta presión o en ausencia de oxígeno a temperaturas elevadas. Es además permeable a los gases. Sus aplicaciones en la industria incluyen las juntas, forros, aislamientos, moldes para moldeo o modelado, membranas permeables y aplicaciones en la industria automotriz y aeroespacial [Mink, 1990]. La Tabla 1 presenta un resumen de las propiedades del *silastic*.

Tabla 1. Resumen de propiedades del *silastic*

Propiedades físicas	Densidad ( g/cm <sup>3</sup> )	1,1 - 1,5
Propiedades mecánicas	Dureza - Rockwell	60 grados Shore A
	Resistencia a la tracción (MPa )	6,5
Propiedades térmicas	Calor específico ( kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	1,3-1,5
	Temperatura máxima de utilización ( C )	200-260
	Temperatura mínima de utilización ( C )	-70 a -50
Resistencia química	Ácidos - concentrados	Aceptable
	Ácidos - diluidos	Buena
	Álcalis	Aceptable
	Alcoholes	Aceptable
	Cetonas	Aceptable
	Grasas y aceites	Buena
	Halógenos	Mala
	Hidrocarburos aromáticos	Mala

Fuente: [Goodfellow, 2002].

Dado que el *silastic* es relativamente costoso frente a otros materiales con aplicaciones similares, como es el caso del tubo de tórax, una buena alternativa la constituye el cloruro de polivinilo (PVC). Teniendo en cuenta esto, se recurrió entonces a la elaboración del prototipo del tubo con una variedad de este material con características de atoxicidad. Este material es flexible, consistente, se encuentra en color cristal<sup>2</sup> y es neutro químicamente.<sup>3</sup>

Su síntesis se puede representar por las siguientes etapas:

#### OBTENCIÓN DEL ETILENO O ETENO (CRAQUEO)

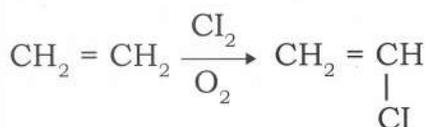


n es un número entero y positivo

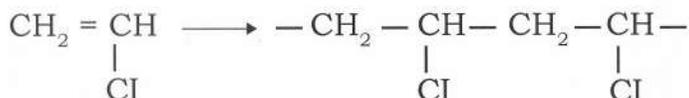
<sup>2</sup> Término que se da al color de los polímeros que son translúcidos y carecen de pigmentación y colorantes.

<sup>3</sup> Que el material no reaccione al contacto con los fluidos corporales.

## OBTENCIÓN DE MONÓMERO DE CLORURO DE POLIVINILO (MVC) (OXIDACIÓN)



## OBTENCIÓN DE PVC (POLIMERIZACIÓN)



Respecto a la forma del tubo, éste contiene unas perforaciones en uno de los extremos, que deben ser colocadas en su totalidad dentro de la cavidad pleural, pues es a través de éstas que el fluido es drenado. La última perforación del tubo debe quedar dentro de la cavidad pleural y el médico debe supervisar que la ubicación se mantenga durante el proceso. La indebida colocación o supervisión por parte del médico pueden ocasionar un enfisema subcutáneo, lesión del pulmón o del diafragma, hemorragia, empiema, edema pulmonar por reexpansión, neurología intercostal y herniación pulmonar por la toracostomía [Hood, 1986].

El mayor inconveniente del actual tubo de tórax se presenta cuando queda indebidamente ubicado o se mueve durante el proceso. Esta movilidad está relacionada con el desplazamiento del tubo hacia la parte interna o externa de la cavidad pleural, por tal motivo se requiere fijarlo a la pared de la cavidad por la parte interna y la parte externa. Se pretende que el nuevo tubo no presente movilidad después de haber sido colocado en el paciente.

La fijación del tubo de tórax dentro de la cavidad se puede conseguir gracias a la colocación de una burbuja al final de las perforaciones de filtración. Esta burbuja tiene como características la flexibilidad, que le permite ser inflada, y posee bajo calibre de espesor, de tal manera que puede ser introducida en la cavidad pleural del paciente sin tener que hacer una incisión mayor a la convencional. Una vez el tubo de tórax se encuentra en el interior, la burbuja será inflada a través de un capilar donde se inyecta aire mediante una jeringa convencional. Al inflarse ésta sirve de retenedor del tubo dentro de la cavidad y por la parte externa se coloca un retenedor sólido con forma de anillo que pueda ajustarse al espesor de la pared de la cavidad del paciente.

Se pretende que el nuevo tubo presente una flexibilidad tal que le permita permanecer ubicado en medio de dos costillas sin que se deforme, comprimiéndose y, en consecuencia, llegue a impedir el paso del fluido a drenar, o que sea demasiado rígido lastimando los tejidos que rodean la pleura. Esta característica se consigue con la selección apropiada del material para elaborar el producto final; éste debe tener una dureza entre 80 y 85 Shore [Timochenko, 1998].

Luego de contemplar los requerimientos del instrumento, se procedió a realizar los planos de cada una de las partes y del prototipo en conjunto; para esta etapa se utilizó la herramienta SolidWorks®. Dentro de este proceso se tuvo en cuenta el uso de formatos aceptados internacionalmente para lo cual se trabajó bajo las normas ISO 16-88, 16-87 y 16-77, especialmente. De acuerdo con esto, se seleccionó el formato A4 para la realización de los planos y el sistema métrico como sistema de medición. Este proceso resulta de gran importancia para proceder a la fabricación del tubo [Shaffer, 2000].

A partir de la forma final del nuevo tubo de tórax y el material de construcción, se seleccionó como proceso de manufactura la extrusión y el moldeo por vaciado con aplicación de temperatura. Acerca de la forma se tuvo en cuenta que el producto es un tubular uniforme en dos diámetros diferentes (la manguera y el capilar). La burbuja, que ejerce la función de retenedor del tubo de tórax en su posición, posee forma discontinua, linealmente es hueca y posee alta elasticidad (Figura 3).

Figura 3. Prototipo del nuevo tubo de tórax.



Fuente: los autores.

La extrusión es un proceso en el que la materia prima —en este caso el PVC peletizado— es llevada a la tolva para ser arrastrada a través del cañón por el tornillo extrusor. A lo largo del cañón se encuentra una serie de resistencias que aumentan la temperatura para fundir el material que al tiempo que es arrastrado es triturado. El material fundido se lleva al extremo del cañón por efecto de empuje, con presión de aire se lleva al punto de solidificación y por regulación de la velocidad de extrusión el diámetro se ajusta a la dimensión requerida. El proceso de enfriamiento se completa mediante la inmersión del tubular en depósitos de agua con aplicación directa. Ya frío,

el material es enrollado y transportado por elementos jaladores que lo depositan en rollos del peso y tamaño deseado [Orbreg, 1984].

Para la elaboración del flotador, como se mencionó, se optó por el proceso de moldeo por vaciado y la solidificación del material por vulcanizado. El moldeo por vaciado consiste en el vertimiento del material en estado líquido en el molde con la forma deseada. La cantidad de material vertido corresponde a la necesaria para cubrir las paredes de la cavidad del molde y dejar en la pieza un espesor de 0,5 milímetros de pared. El vulcanizado consiste en el proceso de calentamiento de material hasta una temperatura promedio de 50° C durante 30 segundos después de haberse calentado el molde. Los valores determinados para los procesos de moldeo por vaciado y vulcanización provienen de las pruebas elaboradas por los investigadores.

El proceso de ensamble se realizó en el laboratorio del Departamento de Procesos Productivos por parte de los investigadores. Este proceso consiste en cortar el tubular en tramos de 500 mm de largo y en uno de los extremos perforar manualmente con sacabocados. El capilar se corta en tramos de 400 mm. Luego de haber cortado las piezas, se toman una de cada una, se ensamblan y se fijan con soldadura líquida para PVC atóxica.

### 3. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los inconvenientes relacionados con el drenaje de líquidos de la cavidad pleural y la recuperación de la presión de la misma, al igual que las patologías asociadas con la fijación del tubo de tórax, podrán ser eventualmente resueltas con el tubo desarrollado por el equipo de trabajo, debido a que la posibilidad de inmovilizar el tubo dentro de la cavidad pleural impedirá la filtración de los fluidos contenidos en la cavidad hacia los tejidos que la rodean. La valoración del tubo corresponde a la etapa que sucede a este trabajo, para lo cual se pretende, inicialmente, realizar pruebas de funcionamiento del tubo de tórax en caninos y sobre la base de los resultados que se obtengan de estas pruebas iniciales, se procederá a la elaboración de pruebas en pacientes humanos. Ambas pruebas serán adelantadas en el Hospital Universitario San Ignacio. Cada tubo colocado deberá ser registrado en un documento independiente que contenga información respecto a su funcionalidad y las reacciones propias de su colocación, centrandose especial atención en las consecuencias patológicas que se deriven del proceso, de tal manera que esta información se pueda contrastar con la que actualmente se tiene del tubo de tórax.

### AGRADECIMIENTOS

El desarrollo mostrado en este artículo es el resultado del proyecto de investigación Diseño y desarrollo de instrumental quirúrgico - Primera fase, adelantado por el Departamento de Procesos Productivos de

la Facultad de Ingeniería y por el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Javeriana, que se realizó con el apoyo económico de la Pontificia Universidad Javeriana a través de la I Convocatoria de Proyectos de Investigación del año 2002.

## REFERENCIAS

- Cantú, D. P. (2002), Trauma de tórax. En <http://www.urgencias-medicas.org>. Fecha de consulta: mayo de 2002.
- Goodfellow Group [2002]. Índice de materiales. En: <http://www.goodfellow.com>. Fecha de consulta: febrero de 2002.
- Hood, R. M. (1985), *Techniques in general thoracic surgery*. Philadelphia, Saunders, 32-67 y 165-191.
- Hood, R. M. (1986), *Surgical diseases of the pleura and chest wall*, Philadelphia, Saunders, 57-228.
- McCabe, C. y Warren, R. L. (2000), "Trauma: an annotated bibliography of the recent Literature". En: *Am J Emerg Med*, 18: 478-94.
- Mink, W. (1990), *El plástico en la industria*, Vol. 1, México, Gustavo Gili.
- Orbreg, E. et al. (1984), *Manual universal de la técnica mecánica*, Barcelona, Labor.
- Ponn, R. B., Silverman, H. J. y Federico, J. A. (1997), "Outpatient chest tube management". En: *Ann Thorac Surg*, 64: 1437-40.
- Schaffer, J. et al. (2000), *Ciencia y diseño de ingeniería de los materiales*, México, Continental.
- Sommers, J. y Faber, L. P. (1996), "Historical developments in the management of empyema". En: *Chest Surg Clin North Am*, 6: 403-18.
- Timochenko, S. (1998), *Resistencia de materiales*, México, Continental.