



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

CARACTERIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL EQUIPO FUENTE NARIZ, DISEÑADO PARA LA ADAPTACIÓN NEONATAL INMEDIATA CONDUCTA E INDUCIDA EN LA DIVISIÓN DE PERINATOLOGÍA Y NEONATOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

César Santiago Gordillo Tous, Pregrado Ingeniería Mecatrónica
csgordillot@unal.edu.co

María Isabel Márquez Baca, Pregrado Ingeniería Mecatrónica
mimarquezb@unal.edu.co

María Daniela Caicedo León, Pregrado Medicina
mdcaicedol@unal.edu.co

Jan Bacca Rodríguez, Ingeniero Electrónico Ph.D
jbaccar@unal.edu.co

Luis Carlos Méndez Córdoba, Médico Pediatra, Perinatólogo y Neonatólogo,
lcmendezc@unal.edu.co

**Grupo de investigación en Electrónica de Alta Frecuencia y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia (CMUN)
Universidad Nacional de Colombia
Sede Bogotá**



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**CARACTERIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL EQUIPO FUENTE NARIZ,
DISEÑADO PARA LA ADAPTACIÓN NEONATAL INMEDIATA CONDUCTA E
INDUCIDA EN LA DIVISIÓN DE PERINATOLOGÍA Y NEONATOLOGÍA DEL
DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.**

Resumen

Este artículo presenta la caracterización y la modelación gráfica y matemática, realizada por estudiantes de pregrado de ingeniería y medicina, del dispositivo Fuente Nariz. La motivación de este proyecto es sustentar el trabajo del doctor Santiago Currea Guerrero, quien diseñó este dispositivo adaptando elementos de la práctica médica diaria para ser utilizados en la asistencia respiratoria o ventilatoria. La caracterización de la Fuente Nariz se realizó utilizando métodos como la simulación y el análisis por elementos finitos. De este proceso se obtuvieron las ecuaciones que nos indican el comportamiento del fluido al ser suministrado por el dispositivo y su transformación en el paciente neonatal. Basados en lo anterior pudimos concluir que la Fuente Nariz es un dispositivo funcional para la asistencia ventilatoria neonatal y a su vez es un dispositivo seguro dentro de su margen de uso.

Abstract

This paper presents the characterization and the graphical and mathematical modeling, performed by undergraduate students of Engineering and Medicine, of a device called *Fuente Nariz*. The motivation for the project is to corroborate the work of Dr. Santiago Currea Guerrero, who adapted elements of the daily medical practice to be used as respiratory or ventilatory-support devices. The characterization of the Fuente Nariz was carried out using methods such as simulation and finite elements analysis. This process led us to find the equations



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

that indicate the behavior of the fluid supplied by the device and its transformation inside the neonatal patient. Based on the aforementioned, we can conclude that the *Fuente Nariz* is a functional device for neonatal respiratory support and, at the same time, it is a safe device within its range of use.

Palabras Clave

Asistencia Ventilatoria Neonatal, Fuente Nariz, Presión Estática o Constante, Presión Inspiratoria Máxima Proximal, Simulación, Tiempo de Insuflación, Tiempo Inspiratorio, Vía Aérea Superior, Volumen Constante.

I. Introducción

El Síndrome de Dificultad Respiratoria Neonatal (SDRN), es el trastorno respiratorio más frecuente en recién nacidos, y su incidencia y gravedad son inversamente proporcionales a la edad gestacional. Por medio de la observación y análisis de esta problemática y sus razones, desde hace más de 30 años, en el Instituto Materno Infantil “Concepción Villaveces de Acosta”, con la regencia académica de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, el Doctor Santiago Currea Guerrero en su práctica como Pediatra y Neonatólogo, con la premisa “soluciones simples a problemas complejos”, adaptó elementos de la práctica médica diaria a dispositivos de asistencia respiratoria o ventilatoria sencillos, de bajo costo, disponibles y de fácil manipulación, como la Fuente Nariz (FN). (1) Estos dispositivos tienen como fin brindar más y mejores recursos para la prevención, tratamiento y recuperación de las patologías constituyentes del SDRN, tales como asfixia perinatal aguda, depresión neurológica-cardiológica-respiratoria secundaria a asfixia o anestesia, apnea primaria o secundaria, enfermedad por deficiencia de surfactante (membrana hialina), aspiración de líquido amniótico con meconio, líquido pulmonar persistente (taquipnea



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

transitoria), entre otros; los cuales son detectables y tratables desde la Adaptación Neonatal Inmediata (ANI) conducida o inducida. (1)

La FN es un sencillo dispositivo plástico de asistencia respiratoria o ventilatoria nasal pasiva o activa que suple las funciones de otros dispositivos como la Bolsa autoinflable, la Bolsa inflada por flujo o Sistema con pieza en T.

Se ubica como conector entre la manguera, que desde la fuente lleva los gases (oxígeno y aire), y la nariz del recién nacido.

En busca de darle un sustento científico a lo que por experiencia se usa y es efectivo clínicamente, investigadores de la Universidad Nacional de Colombia tanto médicos como ingenieros de diferentes disciplinas en pregrado, decidieron modelar, caracterizar y validar, mediante simulación el dispositivo FN.

II. Metodología

En su fase inicial se realizó una búsqueda en la literatura médica sobre las variables generales y específicas de la fisiología respiratoria perinatal y neonatal, sus valores en rangos y sus unidades de medición (Cuadro 2). Posteriormente se realizó un corte longitudinal del dispositivo con el fin de obtener sus respectivas dimensiones para luego hacer un modelo a escala real en Inventor Profesional® (Figura 1).

Se usó el módulo de simulación de fluidos Autodesk CFD flex® para realizar el análisis por elementos finitos del dispositivo (Figura 2). Se realizaron simulaciones con siete valores diferentes del flujo suministrado a la Fuente Nariz (Cuadro 1). Finalmente, por medio de regresiones lineales se encontraron las distintas ecuaciones que nos llevarían a entender lo que sucede con el fluido al momento de entrar a la vía aérea superior del paciente neonatal.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

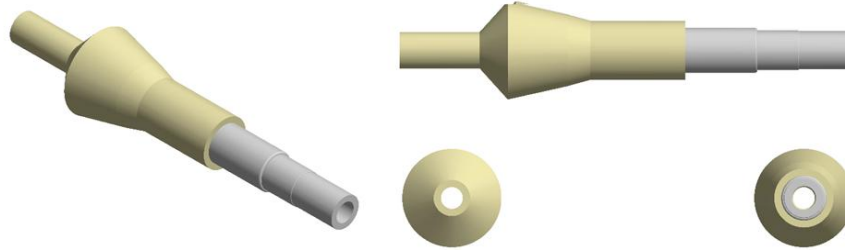


Figura 1. Vistas Generales del dispositivo Fuente Nariz.

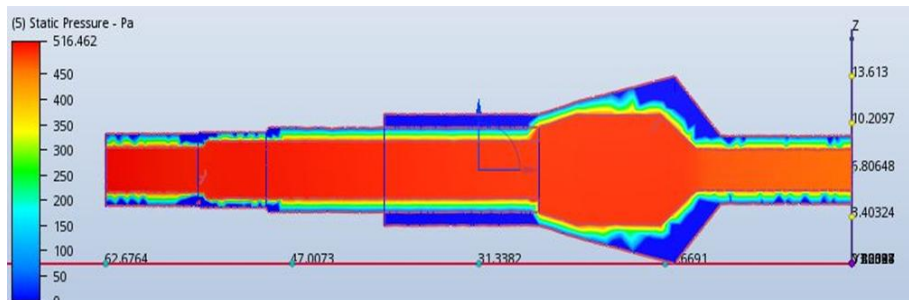


Figura 2. Perfil de Presiones del dispositivo Fuente Nariz.

III. Resultados

Con base en el análisis por elementos finitos se encontró la presión estática suministrada por la fuente nariz (Cuadro 1). Por la Ley de Gases Universal ($PV = nRT$) se sabe que la variación de la temperatura afecta la presión del fluido. Seguido a esto se definió que para el fluido hay dos tiempos: el primero, justo antes de salir de la FN, y el segundo, en la vía aérea superior del paciente neonatal. Como nR es constante se puede encontrar que: $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ (Ecuación 1)

Con el fin de demostrar que V_1 es igual a V_2 se calculó el tiempo que la FN tarda en suministrar el V_c (volumen corriente): $Q \times t = V$, sabiendo que Q es el flujo de la FN, t es el tiempo inspiratorio y V es volumen inspiratorio. Lo anterior indica que para lograr el volumen inspiratorio mínimo es necesario menos tiempo de insuflación o inspiratorio, debido a la relación inversa entre este tiempo y el flujo



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

suministrado (Cuadro 3). Ahora bien, sabiendo que $V_1 = V_2$ se puede llegar a $\frac{P_1 T_2}{T_1} = P_2$ (Ecuación 2). Con la ecuación 2 se calcularon los resultados consignados en las filas tres y cuatro del Cuadro 1.

Los resultados obtenidos y presentados posteriormente (Cuadros 1 y 3) mostraron un comportamiento lineal. Por lo tanto, usando un método de regresión lineal simple se puede hallar una función matemática que nos permita caracterizar el comportamiento de la Fuente Nariz. Al analizar los datos se llegó a la conclusión que la presión suministrada depende del flujo de gases proporcionado a la FN y de la temperatura corporal del paciente.

$$p f = 2.7771f - 0.7014$$

Ecuación 2: Presión Estática o Constante en la Fuente Nariz en función del Flujo

$$P_{p,t} = \frac{pt}{15}$$

Ecuación 3: Presión Inspiratoria Máxima Proximal (PIMP) en función de la Presión Estática en la Fuente Nariz y de la Temperatura Corporal del paciente

Al reemplazar la Ecuación 3 en la Ecuación 4 obtenemos la Ecuación 4: Función que caracteriza la Fuente Nariz (en el escenario simulado) en función del Flujo y la Temperatura Corporal del paciente.

$$P_{f,t} = \frac{(2.7771f - 0.7014)t}{15}$$

Ecuación 4: Función que caracteriza la Fuente Nariz (en el escenario simulado) en función del Flujo y la Temperatura Corporal del paciente

De la Ecuación 5 obtuvimos su respectiva gráfica (se obtiene la Figura 3.), la cual muestra el comportamiento de la Presión Constante suministrada por la Fuente Nariz (en el escenario simulado) y al ser comparado con el valor de la Presión Inspiratoria Máxima Proximal (PIMP) (Cuadro 2.) podemos ver que los valores



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

obtenidos están dentro del rango citado, lo cual indica que el dispositivo en su uso ventilatorio neonatal es seguro para los pacientes. Ahora bien, aplicando el análisis realizado para encontrar la Ecuación 4 se halló una ecuación que permite calcular la Presión Inspiratoria Máxima Proximal (PIMP) en cualquier escenario. La ecuación de caracterización final es la Ecuación 5 con T como la temperatura media del sitio donde se realice el procedimiento.

P f,t = (2.7771f - 0.7014)t / T

Ecuación 5: Función de Caracterización Final

Table with 2 main rows (Primer Tiempo and Segundo Tiempo) and 9 columns (Flujo Suministrado and various pressure values).

*Las simulaciones se realizaron bajo las siguientes condiciones: a una presión atmosférica de 551 mmHg, a una temperatura media de 15°C (condiciones de simulación para Bogotá – Colombia)

Cuadro 1. Resultados del Análisis por Elementos Finitos



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Español	English	Unidades	Rango	Referencias
Presión Inspiratoria Máxima Proximal (PIMP)	Peak Inspiratory Pressure (PIP)	cmH2O	10 a 30	8, 9
Presión Positiva al Final de la Espiración (PPFE)	Positive End Expiratory Pressure (PEEP)	cmH2O	2 a 10	8, 9
Volumen Corriente (VC)	Tidal Volume (V_t or TV)	mL/Kg	2,9 a 7,9	5,6,7,8,9,10
Volumen Minuto (VM)	Volume minute (V_m)	$mL/(Kg \cdot min)$	200 a 480	7, 9
Tiempo Inspiratorio (TI)	Inspiratory Time (IT)	s	0,28 a 0,87	5,6,9
Temperatura de los Gases	Gases Temperature	°C	35 a 37	8
Humedad Relativa de los Gases	Relative Humidity Relation	%	60 a 70	9

Cuadro 2. Matriz de Variables Funcionales Respiratorias Neonatales

Peso Corporal (Kg)	V_c (mL/Kg)	Tiempo Inspiratorio (TI) (s)	Flujo o Caudal (L/m)	Rango de Volumen Suministrado (L)	Rango de Tiempo de Insuflación (s)
1,5	2,9 a 7,9	0,28 a 0,87	1	0,00435 a 0,01185	0,26 a 0,71
			1,5		0,17 a 0,47
			2		0,13 a 0,36
			2,5		0,10 a 0,28
			3		0,09 a 0,24
			3,5		0,07 a 0,20
			4		0,07 a 0,18
4,5	2,9 a 7,9	0,28 a 0,87	1	0,01305 a 0,03555	0,78 a 2,13
			1,5		0,52 a 1,42
			2		0,39 a 1,07
			2,5		0,31 a 0,85
			3		0,26 a 0,71
			3,5		0,22 a 0,61
4	0,20 a 0,53				

Cuadro 3. Demostración de la igualdad de volúmenes.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

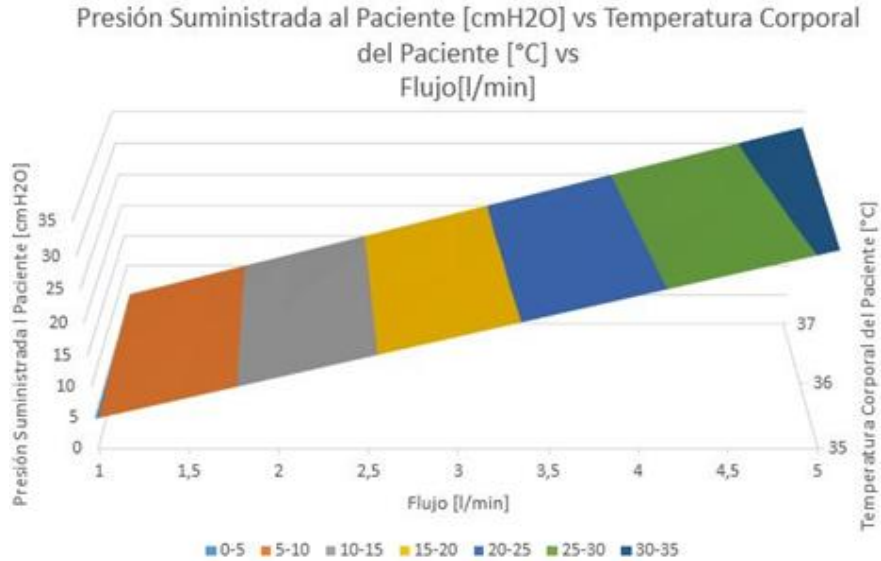


Figura 3. Presión Inspiratoria Máxima Proximal (cmH₂O)

IV. Conclusiones

Como resultado del trabajo interdisciplinar de este grupo de investigación, a partir del modelamiento de la FN y por medio de una regresión lineal simple, se caracterizó el dispositivo y el comportamiento del fluido suministrado por el mismo en la vía aérea superior del paciente neonatal. Así mismo, por medio de una búsqueda en la literatura médica de la fisiología respiratoria perinatal y neonatal, se realizó una matriz que proporciona en valores y rangos las variables fisiológicas neonatales relevantes (Cuadro 2) con las que se compararon las halladas en este proceso. De la comparación de las variables mostradas en el Cuadro 3 notamos que a mayor flujo es necesario un menor tiempo inspiratorio, lo cual significaría que con tiempos de insuflación cortos, el dispositivo es más eficiente en su función. Para finalizar, por medio de la simulación por elementos finitos que se realizó para este proyecto de investigación, se concluyó que la Fuente Nariz cumple su función como sistema de asistencia ventilatoria neonatal y es segura dentro del margen de uso; lo anterior dado a que a la salida del dispositivo se



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

presenta una disminución de la presión del fluido –entregado por la fuente de gases- disminuyendo así el riesgo de lesiones por sobrepresión y sobrevolumen en el paciente neonatal.

Agradecimientos

Agradecemos el trabajo realizado por las estudiantes de pregrado en Medicina de la Universidad Nacional de Colombia: Milady Andrea Rivera Forero, Laura Daniela Pérez Daza, Diana Gabriela Murcia Bohórquez, Lizeth Natalia Melgarejo Moreno, María José Rosero García y Helen Dayan Pava Acosta, quienes hicieron la Matriz de Variables Funcionales Respiratorias Neonatales.

V. Bibliografía

1. S. Currea Guerrero, *La adaptación neonatal inmediata. La reanimación neonatal*. Bogotá: Unibiblos, 2004.
2. T. Flórez Calderón, *Métodos Numéricos para Estudiantes de Ingeniería*, 3ª edición. Bogotá: Unibiblos, 2008
3. T. M. Apostol, *Calculus Vol. 2*, 2ª edición. Reverte, 1985
4. J. D. Wilson, A. J. Buffa, B. Lou, *Física*, 6ª edición. Pearson Education, 2007
5. Greenough, N. Robertson, *Neonatal Respiratory Disorders*. London, 1996.
6. D.R. Brodsky, C. Martin, *Neonatology review*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 2003.
7. S. M. Donn, *Neonatal and pediatric pulmonary graphics, Principles and clinical applications*, 1ª edición. New York: Futura Pub. Co., 1998.
8. J. P. Goldsmith, E. H. Karotkin. *Assisted Ventilation of the Neonate*, 5ª edición. Saunders-Elsevier, 2011.
9. T. Gomella, M. Cunningham, F. Eyal and K. Zenk, *Neonatology*, 6ª edición. Lange Medical Books, 2009
10. K. Diem, C. Lentner, *Documenta Geigy Tablas Científicas*, 7ª edición. Basilea: J. R. Geigy, 1975.