

PAPEL • ACCESO ABIERTO

# Innovación tecnológica en el proceso de diseño de un panel acústico para el ambiente hospitalario

Para citar este artículo: PA Gómez-Vélez et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. **1257** 012012

Ver el [artículo en línea](#) para actualizaciones y mejoras.

También te puede interesar

- [Reconocimiento del Alfabeto Colombiano en Lengua de Señas Utilizando Técnicas de Aprendizaje Profundo](#) E Arrieta-Rodríguez, RE Monterroza Barrios, PL Torres-Alvarez et al.
- [Una metodología de detección de fallas de sensores aplicada a sistemas activos piezoeléctricos en aplicaciones de monitoreo de salud estructural](#) Tibaduiza D, Anaya M, Forero E et al.
- [Estudio numérico del factor de concentración de tensiones en geometrías de elementos de máquinas utilizando Ansys® e Inventor®](#) LF Acevedo Román, JG Ardila, M Valdés et al.

# Innovación tecnológica en el proceso de diseño de un panel acústico para el ambiente hospitalario

**PA Gómez-Vélez<sup>1</sup> , MP Rivera-Vega<sup>1</sup> , BJ Galeano-Upegui<sup>1</sup> , y NJ Escobar Mora<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Correo electrónico: paula.gomezv@upb.edu.co, nelson.escobar@upb.edu.co

**Resumen.** La contaminación acústica se ha convertido en un problema mundial, pero, al tener efectos negativos en la salud y el bienestar de las personas, se convierte en una variable a controlar en los entornos hospitalarios. Es por ello que en este artículo se presenta el diseño de un panel con propiedades de reducción de ruido y con características que permitan suplir las restricciones del ambiente hospitalario, a través de los conceptos de Calidez Domiciliaria y Seguridad del Paciente como bases fundamentales para acotar el problema. El ejercicio de diseño utiliza el modelo VDI 2221 y el modelo de simetría problema/solución con el fin de restringir el diseño y refinarlo sin perder de vista el contexto para el cual está diseñado el panel. Como resultado se obtiene un diseño de la estructura que luego pasa a una etapa de mejora de detalles, en la que se definen características asociadas a los materiales, procesos de producción y otras características adicionales.

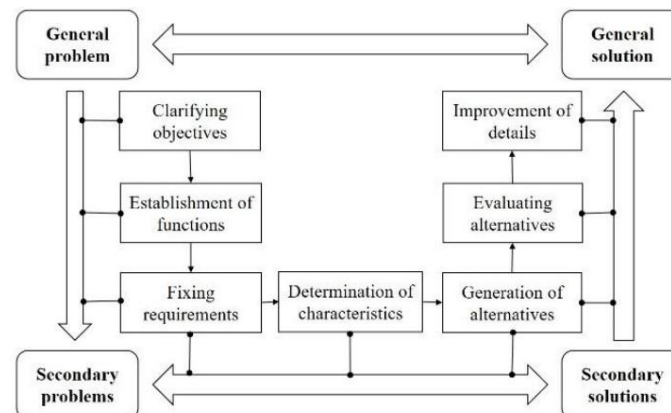
## 1. Introducción

Según diversos estudios, el ruido tiene un efecto negativo en la salud y el bienestar de las personas, por lo que la organización mundial de la salud (OMS), lo catalogó en 1972 como otra forma de contaminación denominada contaminación acústica [1]. Si bien la contaminación acústica puede presentarse en todo tipo de espacios, no cabe duda de que el lugar más vulnerable para abordar este problema son los entornos hospitalarios, ya que albergan a una gran cantidad de personas con problemas de salud y cuya recuperación depende en gran medida de las condiciones de calma del entorno donde se encuentran. Si bien esto es bastante evidente, la industria del acondicionamiento acústico ha brindado pocas opciones para el tratamiento acústico de espacios a nivel hospitalario, debido a la gran cantidad de requisitos que implica el cumplimiento de cualquier vestuario utilizado en este tipo de ambientes. Es por esto que se realizó este trabajo en el cual se lleva a cabo un proceso estructurado de diseño de ingeniería, específicamente enfocado a cubrir las necesidades acústicas del ambiente hospitalario, pero con el diferencial de brindar las condiciones de limpieza adecuadas para estos ambientes que se deben cumplir cantidad de reglamentos

## 2. Metodología y resultados

El proceso de diseño se realizó utilizando la metodología propuesta por el modelo VDI 2221 (Figura 1), el cual mantiene una estrecha relación entre el problema general y los problemas secundarios con sus respectivas soluciones generales y secundarias [2]. A continuación, se presentará el desarrollo de cada etapa del modelo VDI 2221 en torno al problema descrito.





**Figura 1.** Modelo VDI 2221 del proceso de diseño en modelo simétrico de problema/solución.

### 2.1. Clarificar objetivos

En esta etapa de diseño, es importante tomar el problema y comenzar con el análisis de cómo se puede abordar mediante el establecimiento de objetivos. Para ello se utiliza el método denominado "árbol de objetivos" en el que el punto de partida o el input es el planteamiento del problema, para lo cual inicialmente se hizo una contextualización con diferentes tipos de fuentes (artículos científicos, reglamento de niveles de ruido, reglamento para hospitales, etc.) con el fin de hacer una mejor identificación del problema y estructurar un poco el acercamiento de la misma.

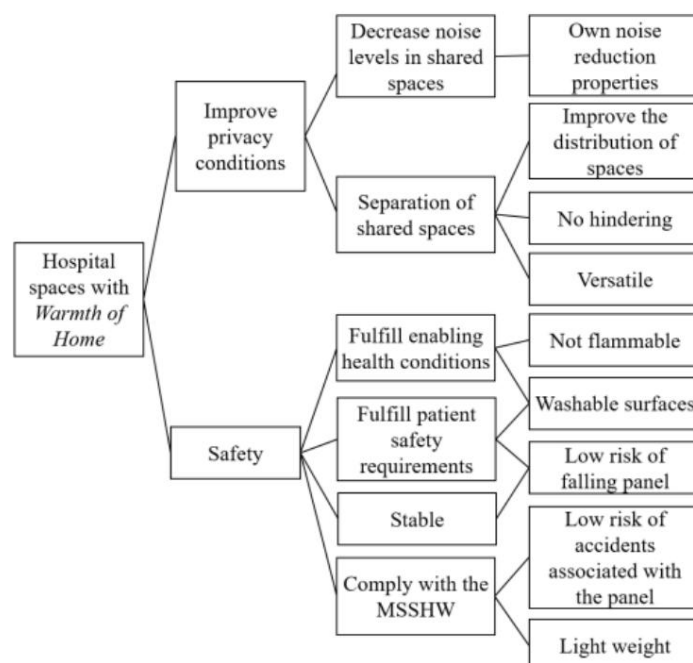
Frente a esto, se encontraron a destacar diferentes circunstancias importantes; por ejemplo, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia limitó los niveles máximos de ruido recomendados para zonas tranquilas (que incluyen hospitales) en 55 dB durante el día y 50 dB durante la noche [3]. Esta condición difícilmente se cumple en la actualidad por varias razones, entre ellas, en general, los niveles de ruido de las principales ciudades como Medellín están, en la mayoría de las zonas, por encima de los 65 dB [4]. Otra condición encontrada en la contextualización del problema se refiere a las importantes fuentes de ruido en el ambiente hospitalario, como son los equipos biomédicos (monitores, ventiladores, máquinas de anestesia, entre otros), que pueden llegar a emitir sonidos cercanos a los 78 dB [5]. Dependiendo del servicio y las condiciones de funcionamiento de la institución, estos niveles pueden perjudicar la tranquilidad de los pacientes y, por ende, también su proceso de recuperación.

De acuerdo con esto, el problema se planteó como "la necesidad de un panel con propiedades de reducción de ruido para la separación de espacios compartidos en el entorno hospitalario". Con esto, se consideran dos conceptos importantes para un proceso de recuperación: el primero es el concepto de *Calor de Hogar*, que hace referencia a la capacidad que tiene un espacio de acercarse a las condiciones domésticas en las que vive el paciente, de manera que pueda tener una recuperación más productiva. proceso, como si estuvieras en tu casa [6]; y el segundo concepto es *la Seguridad del Paciente*, que busca minimizar y, en lo posible, eliminar los riesgos para el paciente asociados a la atención sanitaria [7]. Con todo esto, se planteó el árbol de metas presentado en la Figura 2, enfocado en el problema planteado anteriormente y enmarcado por los conceptos de *Calidez del Hogar* y *Seguridad del Paciente*.

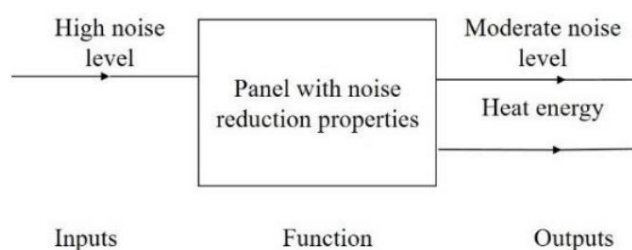
### 2.2. Establecimiento de las funciones

A través de esta etapa, se hace una descripción clara de la función principal que cumplirá el panel. Con base en los conceptos de *Calidez Domiciliar* y *Seguridad del Paciente*, más el planteamiento del problema, se determinó que la función principal del panel está relacionada con las propiedades de reducción de ruido que presenta y la separación de espacios (representada por un recuadro negro en la Figura 3). Para entender esta función principal, es importante saber que cuando una onda golpea una superficie, se generan 3 fenómenos: reflexión, absorción y transmisión [8]. Esto quiere decir que la energía de cada onda sonora se descompone en 3: una parte de la energía es reflejada por una onda reflejada, otra parte es absorbida en el material y este al ser absorbente lo transforma en calor; y finalmente, el resto de la energía atraviesa el material mediante una onda transmitida [8]. Esta onda transmitida es la que se recibe al otro lado del panel y presenta una reducción de energía, lo que supone una reducción del nivel de ruido percibido. La Figura 4 desarrolla este

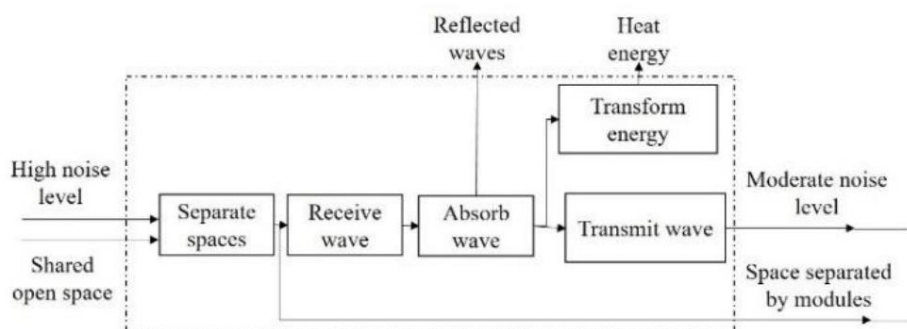
concepto completo del principio de funcionamiento del panel, considerando que en este caso se separan dos espacios contiguos pero que requieren cierta independencia.



**Figura 2.** Árbol de objetivos del problema planteado.



**Figura 3.** Caja negra, función principal del panel.



**Figura 4.** Cuadro de funciones del panel transparente.

### 2.3. Requisitos de fijación

En esta etapa, el énfasis se pone en el problema, y especialmente en las metas establecidas en el árbol de metas. Para ello se realiza una búsqueda sistemática de la información referente a 5 temas: Seguridad del Paciente, limpieza y desinfección, salud y seguridad en el trabajo, normativa para hospitales y niveles de ruido para hospitales. De toda la búsqueda se extraen una gran cantidad de requisitos que el diseño de la

debe cumplir el panel, y otras que sean deseables por determinadas condiciones; por ejemplo, todos los hospitales deben cumplir con los requisitos especificados en la Resolución 2003 de 2014, ya que son las condiciones mínimas para los servicios de salud, sin embargo, solo los que están acreditados (o están en proceso de obtener la acreditación en salud) deben cubrir las condiciones incluidas en el Decreto 903 de 2014 [9]. Lo mismo ocurre con el tema de la acreditación por parte de Joint Commission International, sin embargo, esta abarca algunos conceptos relevantes como la Seguridad del Paciente que forman parte del enfoque de salud en Colombia en la actualidad [10].

Con la búsqueda de información se recolectaron alrededor de 60 requisitos. Sin embargo, se llevaron a cabo procesos de selección de los requisitos más determinantes para el diseño e incluso se replantearon los requisitos de tal manera que era posible abarcar una gran cantidad de características en una sola. Finalmente, los requisitos establecidos para el diseño se presentan en la Tabla 1, en la que se diferencian los requisitos que exige (D en la Tabla 1) y los que son deseables (d en la Tabla 1).

**Tabla 1.** Requisitos para el diseño del panel.

Requisitos D d		
Suave, lavable y resistente a productos detergentes/desinfectantes [11]	X	
Contornos suaves y fáciles de limpiar [10]		X
Debe tener propiedades de reducción de ruido [3]	X	
Debe permitir el movimiento de personas y equipos [12]	X	
Permite separaciones y cerramientos en diferentes espacios	X	
Estructura modular de máximo 50 cm de ancho [12]		
Fácil y seguro de instalar, operar y manipular [13]	X	
Instalación por parte de un operador no especializado Operación obvia, manejo simple y		X
conveniente Estética y visualmente agradable al ambiente hospitalario [6], [14]	X	
Posibilidad de personalizar el panel según las necesidades institucionales		X
Portátil y con un peso máximo de 12,5 kg [13]	X	
Estable [7], [10], [11]	X	
No inflamable [11]	X	

#### 2.4. Determinación de características

La etapa de determinación de características consiste en definir cuáles son las variables de ingeniería que se van a considerar para el diseño del panel [2]. La entrada principal de esta etapa son las necesidades básicas de los usuarios que proporcionan el punto de partida para el proceso de diseño. Para obtener objetivamente estas condiciones, se planteó el problema a varios usuarios (pacientes, acompañantes, personal de salud y personal de apoyo de las instituciones prestadoras de servicios de salud) con el fin de indicar los requisitos que, desde su perspectiva, pudieran ser relevantes para el panel. que se estaba diseñando. Así, se identificaron 22 requisitos y se agruparon según la afinidad entre ellos (ver Tabla 2).

El siguiente paso fue determinar las características de ingeniería que se utilizan para cuantificar los requisitos. Se encontraron 14 características de ingeniería (ver Tabla 2) que se pueden cuantificar y también resaltar los requisitos del usuario en el diseño.

Con los requisitos definidos y las características determinadas, se estableció una relación entre ambos con el fin de demostrar el camino que debe tomar el diseño y establecer metas cuantificables para cada característica. Una vez recolectada la información de la matriz que se muestra en la Tabla 2, se pasó a la siguiente etapa del diseño, en la cual se consideraron alternativas para el diseño del producto.

#### 2.5. Generación de alternativas

Para la generación de un diseño es importante considerar los productos que se encuentran actualmente en el mercado con el fin de tomar como referencia algunas de las características de estos y generar mejoras que logren una solución más adecuada en el contexto de la problemática planteada.

Para ello se utilizó una matriz morfológica donde se pueden visualizar las alternativas para cada una de las funciones. Así, lo primero que se definió fueron las características que se explorarán con las alternativas que presentan los productos del mercado. También se incluye la primera versión del panel acústico que se está diseñando ya que cuenta con características interesantes como el material absorbente acústico cuyas propiedades funcionan para el ambiente hospitalario, a diferencia de otros materiales utilizados para la absorción de ruido [3]. Las características exploradas se definieron a partir de las funciones y requerimientos del panel, y, a su vez, también se contextualizan los medios bajo las condiciones del problema planteado. En la Tabla 3 se muestra la matriz morfológica que se construyó ya partir de la cual se generaron diferentes alternativas de diseño para el panel. Según esta matriz, se pueden presentar 32 opciones de diseño diferentes; luego, se presentan los 3 que se consideraron más consistentes de acuerdo a los requerimientos planteados en las etapas anteriores (ver Figura 5).

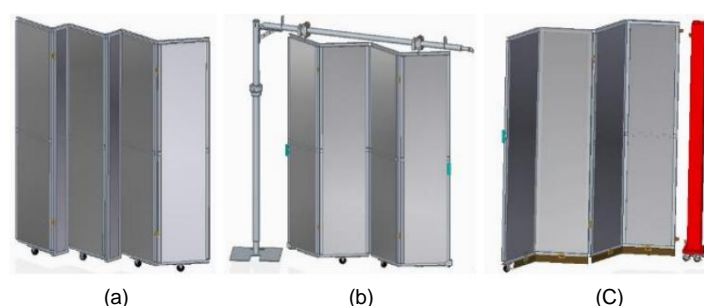
**Tabla 2.** Matriz de requisitos de usuario vs características de ingeniería.

	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espacios separados														
Lavable	XX							X						
Disminuir el ruido			X											
Fácil de usar				XXXXX						X		X		
Estético										X				
Portátil								XX		X		X		
no inflamable														X
Seguro								XXXX				X		
No interferencia											XX			
Unidades	°	#	-	#	#	#	#	#	-	#	#	#	#	#
Meta	-	0	-	5	300	2	0	12.5	12	-	5	50	200	2.2

**Tabla 3.** Matriz morfológica para generación de alternativas de diseño.

Características	Maneras		
Apoyo	soporte de piso	Soporte lateral	Soporte de techo
Portátil	Plegable	Soporte mixto	Soporte enrollable
Patas planas sin interferencia		Ruedas	
Reduce el ruido	Material absorbente acústico		
Estructura	Rígido	Maleable	

**2.5.1. Alternativa 1.** Para esta alternativa de diseño se seleccionó un soporte de piso mediante el uso de ruedas con freno que posibilitan la estabilidad del panel, junto con una estructura plegable y rígida y, utilizando el material absorbente acústico para conferir las propiedades de reducción de ruido. Esta alternativa de diseño se puede plegar y dejar como caja para guardarla fácilmente.



**Figura 5.** Alternativas de diseño (a) Alternativa 1, (b) Alternativa 2, (c) Alternativa 3.

**2.5.2. Alternativa 2.** En esta alternativa se seleccionó un apoyo mixto con piso y componente lateral. Para ello se utilizó un sistema telescópico con prolongación vertical, en el que se utiliza un raíl para dar mayor estabilidad a la estructura. Adicionalmente, el soporte de suelo incluye ruedas para facilitar el plegado de los cuerpos rígidos del panel. En este sistema el material absorbente acústico también se utiliza para las propiedades acústicas del panel.

**2.5.3. Alternativa 3.** Se utiliza una estructura con apoyo mixto como en la alternativa 2, ya que se trata de un tubo lateral que favorece la estabilidad del panel, y ruedas con freno como apoyo al suelo y vía. para mejorar la portabilidad del panel. Como en los dos diseños anteriores, este también incluye el material absorbente acústico.

## 2.6. Evaluación de alternativas

Para la evaluación de las alternativas se tomaron las alternativas de diseño propuestas en la etapa inmediatamente anterior y los requerimientos de los usuarios, a los cuales se les había asignado un porcentaje de participación de acuerdo a la afinidad y la relación de estas con los objetivos planteados en el árbol de metas. La escala de cumplimiento utilizada para la evaluación de las alternativas de diseño considera en qué medida la alternativa de diseño cumple con el requisito o no. Esta escala consiste en dar una nota de 5 cuando el cumplimiento es alto, 3 cuando es moderado y 1 cuando es bajo. Con esta escala se realiza la calificación de cada alternativa de diseño frente a cada requisito y se obtiene la calificación ponderada de cada alternativa de diseño, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Evaluación de alternativas de diseño.

Requisitos % participación	Alternativas de diseño		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Espacios separados 12%	3	1	5
Lavable 12%	3	3	3
Reducir el ruido 14%	5	5	5
Fácil de usar 10%	3	1	5
Estética 10%	5	1	5
Portátil 10%	5	3	3
No inflamable 10%			1
Seguro 12%		1	5
No interferencia 10%	1		5
Calificación ponderada	1 5 3.44	5 3 2.68	4.16

Sin profundizar en cada cualificación, es importante señalar varios detalles:

- Las tres alternativas de diseño tienen como forma de reducción de ruido el material absorbente acústico de la primera versión del panel, por lo que todos los diseños tienen un alto cumplimiento de este requisito.

- Ante el requisito de que el producto debe ser lavable, todos los diseños recibieron una calificación de cumplimiento moderado. Esto se debe a que las condiciones de diseño se cumplen en cuanto a acabados, sin embargo, cierta parte de la condición de que el producto se pueda lavar o no depende de los materiales, para lo cual es necesario hacer pruebas y definir ciertas especificaciones.
- El requisito que se refiere a la estética del diseño solo refleja la apariencia de la estructura. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este componente se aborda en la siguiente etapa desde el tema de *Calor en el Hogar* a través de la mejora de los detalles.
- Y, por último, está la cuestión de la condición que debe cumplir el diseño de no ser inflamable. Esta condición depende claramente del material, por lo que la información de la alternativa de diseño no es un punto de referencia para este requisito y, por ello, se califica como de bajo cumplimiento.

Para la selección del diseño se tomó la alternativa con mayor puntaje en la ponderada calificación, es decir, la alternativa 3, con paso a la etapa de refinamiento de los detalles.

### 2.7. Mejora de detalles

En esta etapa se ultiman detalles en cuanto al diseño para cubrir los requerimientos y objetivos que se establecieron para el proceso. En este punto se consideran los materiales vigilando que las características de estos contribuyan al cumplimiento de los objetivos. Otro detalle que se hace hace referencia a cómo se involucra en el diseño el concepto de *Home Warmth*. Para ello se encontró una alternativa que consiste en colocar una cubierta impresa en el panel y que se puede personalizar según las necesidades del usuario.

Este artículo no informa más sobre esta etapa debido a que existen varias condiciones que requieren un estudio más profundo.

### 3. Resultados

Establecimos los requisitos que nos permitan dar solución al problema detectado y a partir de estos, sugerir los diagramas elaborados por los autores que facilitan el análisis de la información obtenida y que dieron base al desarrollo de la solución propuesta por los autores en este trabajo. Se implementó la metodología de diseño, y el resultado fue una solución que cumplió adecuadamente con los requisitos considerados por los autores (ver Figura 5 (B)). El panel acústico fue desarrollado en base a las necesidades del ambiente hospitalario en torno a la reducción del ruido, asegurando que el paciente tenga un ambiente cálido sin descuidar las normas de seguridad del paciente.

### 4. Conclusiones

Los procesos de diseño siempre tienen un componente subjetivo aportado por la creatividad del diseñador; sin embargo, es muy importante el componente objetivo del proceso que se logra mediante el abordaje del problema y la contextualización de las necesidades. Se evidenció que al realizar una buena evaluación del problema del ruido en el ambiente hospitalario y adoptar los conceptos de Calidez Domiciliaria y Seguridad del Paciente, se desarrolló una solución al problema abordado en este trabajo a través de la aplicación del modelo VDI 2221 y el modelo de simetría problema/solución y adicionalmente el análisis realizado por los autores desde el punto de vista de la literatura revisada, las soluciones comerciales actuales y la opinión de expertos presenta un potencial innovador.

### Referencias

- [1] Cunha M y Silva N 2015 Ruido hospitalario y bienestar de los pacientes *Procedia - Social and conductual Ciencias* **171** 246–251
- [2] Cross N 1999 *Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos* (México: Limusa Wiley)
- [3] Rivera-Vega M, Galeano-Upegui B, Escobar-Mora N and Patiño E 2015 El proceso de diseño de una barrera acústica aplicada al sector hospitalario *Revista Ingeniería Biomédica* **9** 133–138
- [4] Yepes D, Gómez M, Sánchez L and Jaramillo A 2009 Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión de ruido urbano - Caso Medellín *Dyna* **76(158)** 29–40
- [5] Mendoza-Sánchez R, Roque-Sánchez R and Moncada-González B 1996 Nivel de ruido en una institución hospitalaria de asistencia y docencia *Gaceta Médica de México* **132(2)** 127–133



- [6] Sanín J 2009 *Hogar en tránsito: entre las tácticas de la malicia indígena y las estrategias de la inclusión social* (Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana)
- [7] Villarreal E 2007 Seguridad de los pacientes. Un compromiso de todos para un cuidado de calidad *Salud Uninorte* **23(1)** 112–119
- [8] Isbert A 1998 *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* (Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya)
- [9] Ministerio de Salud y Protección Social 2014 *Sistema Único de Acreditación en Salud Decreto 903 de 2014* (Colombia: Ministerio de Salud y Protección Social)
- [10] Joint Commission International 2017 Sección I: Requisitos de participación en la acreditación *Estándares internacionales de acreditación de la Comisión para hospitales* (Illinois: Comisión Conjunta Internacional)
- [11] Ministerio de salud y protección social 2014 *Procedimientos y condiciones de inscripción de los Prestadores de Servicios de Salud y de habilitación de servicios de salud Resolución 2003 de 2014* (Colombia: Ministerio de salud y protección social)
- [12] Panero J y Zelnik M 1996 *Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos* (Barcelona: Ediciones G. Gili)
- [13] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social 1979 *Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo Resolución 2400 de 1979* (Colombia: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social)
- [14] Cuervo J 2010 ¿Vivienda, casa, hogar? La construcción del concepto "hábitat doméstico" *Iconofacto* **6(7)** 70-88