

Diseño de una cámara de ensayos termoeléctricos

Design of a thermoelectric camera test

MYRIAM NATALIA MENDIETA REYES

Tecnóloga en Electricidad, estudiante de Ingeniería Eléctrica. Investigadora del grupo GISPUD de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: mnatalia.mendieta@gmail.com

RAÚL ERNESTO MONTAÑA PARRA

Tecnólogo en Electricidad, estudiante de Ingeniería Eléctrica. Investigador del grupo GISPUD de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: raermonpa@hotmail.com

LUIS ANTONIO NOGUERA VEGA

Ingeniero Eléctrico. Investigador del grupo GISPUD, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: Luis.noguerav@gmail.com

Fecha de recepción: 16 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: GISPUD

Palabras clave: *Equilibrio termodinámico, física de la transmisión de calor, flujo de fluidos, mecánica de fluidos*

Key words: *Thermodynamic equilibrium, physics of heat transmission, fluid flow, fluid Mechanics..*

RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados de simulaciones en la herramienta computacional Comsol Multiphysics, con el fin de diseñar una cámara de ensayos térmicos para el laboratorio de Ensayos Termoeléctricos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, como parte inicial en el desarrollo de proyectos de investigación en protecciones termomagnéticas en baja tensión, según lo establecen las normas técnicas IEC-947 y NTC-2116. Durante su ejecución, se procedió a realizar un análisis de los diferentes materiales y topologías necesarias, obteniendo resultados de simulaciones y gráficas que permitieron definir criterios de diseño, tales como la temperatura interna y externa de las paredes, la geometría definitiva, forma en la entrada, salida y

distribución del flujo de aire al interior de la cámara, dimensiones, características de los materiales, especificaciones y recomendaciones adicionales.

ABSTRACT

This paper presents the results of simulations in Comsol Multiphysics computational tool, in order to develop the design of a thermal test chamber for the Laboratorio de Ensayos Termoeléctricos of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, as initial part of the development of research projects in thermomagnetic protection in low voltage, as established technical standards IEC-947 and NTC-2116. During its implementation, proceeded to do an analysis of the different materials and topologies, obtaining simulations results and graphs that allowed defining

design criteria, such as internal and external temperatures of the walls, the final geometry, shape at the input, output and distribution of air flow inside

the chamber, dimensions, material characteristics, additional specifications and recommendations.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento de los dispositivos eléctricos depende de condiciones ambientales como la temperatura, que puede afectar drásticamente sus componentes, por ejemplo, en el caso de los interruptores termomagnéticos, el tiempo de respuesta puede variar dependiendo de esta propiedad, por ello, es necesario realizar pruebas en ambientes controlados generados por la cámara de ensayos térmicos, sin necesidad de trasladar los dispositivos a lugares en donde se encuentren las condiciones ambientales necesarias para realizar estas pruebas y siguiendo los lineamientos que estipula la Norma Técnica Colombiana (NTC 2116: Interruptores para Protección Contra Sobre Corriente en Instalaciones Domesticas y Similares) e IEC 947, teniendo en cuenta que estas normas se aplican a interruptores que operan a 50 Hz o 60 Hz, y tienen una tensión no superior a 440 V (entre fases) a corriente nominal máxima de 125 A. [1]

Debido a que el Laboratorio de Ensayos Termoelectrónicos de la Facultad Tecnológica, no cuenta con un ambiente controlado para realizar ensayos estandarizados, es necesario efectuar el diseño de una cámara de ensayos térmicos que permita cumplir con las necesidades del laboratorio y definir las especificaciones técnicas para su futura construcción.

En este artículo se muestra el diseño de la cámara de ensayos térmicos, mediante el uso de la herramienta computacional Comsol Multiphysics, la cual permite simular el comportamiento térmico y las diferentes geometrías, con el fin de establecer que materiales y diseño son los adecuados para la futura construcción de este dispositivo. Así, en la sección 2, se realiza una explicación de conceptos y parámetros necesarios para la configuración del programa. La sección 3, muestra los pasos para la

creación de un proyecto en Comsol. La sección 4, presenta los criterios de diseño, tales como materiales, geometría y distribución del flujo de aire, teniendo en cuenta los resultados de las simulaciones realizadas. La sección 5, establece las especificaciones técnicas finales de la cámara. Finalmente la sección 6, plantea las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

2. FUNDAMENTOS

Comsol Multiphysics es una herramienta que se fundamenta en simular fenómenos físicos, empleando ecuaciones diferenciales parciales, las cuales son solucionadas mediante métodos numéricos de elementos finitos e interpretando estas soluciones de forma gráfica, aportando fundamentos teóricos y variables que permiten comprender mejor su funcionamiento. Por ello, es necesario entender algunos conceptos como el calor, el cual es la cantidad de energía cinética presente en la materia, debido al movimiento de sus moléculas. Asimismo, la temperatura representa una propiedad que permite saber hacia cual dirección se transfiere el calor.

La transferencia de calor se define como el movimiento de energía debido a una diferencia de temperatura, que se caracteriza dependiendo del medio en el cual se lleve a cabo. Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario — que puede ser un sólido o un fluido — se utiliza el término conducción para referirse a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En cambio, el término convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. El tercer modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica. Todas las superficies con temperatura finita emiten

energía en forma de ondas. Por tanto, en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas.

Teniendo en cuenta estos conceptos, en el modulo de transferencia de calor de Comsol, se pueden verificar ecuaciones dependientes del tiempo basadas en la ley fundamental de transferencia de calor y que el software utiliza en función de la temperatura, ya que la energía interna, U, es una cantidad compleja de medir y utilizar en las simulaciones. Además es necesario definir las fronteras de cada geometría, las cuales establecen los límites de las condiciones térmicas; asimismo es necesario seleccionar el tipo de enmallado entre las geometrías con el fin de obtener una solución lo más aproximada posible (ver figura 1).

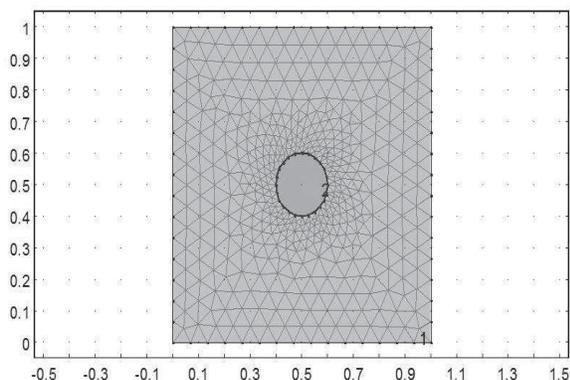


Figura 1. Condiciones de frontera en modulo de transferencia de calor.

La ecuación (1), es la forma general de la ecuación de calor en coordenadas cartesianas, la cual proporciona la herramienta básica para el análisis de conducción de calor.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \nabla T) = Q \quad (1)$$

Donde:

ρ : Densidad [kg/m³]

C_p : Calor específico a presión constante [J/(kg*K)]

T: Temperatura absoluta [K]

k: Conductividad térmica

Q: Fuente de calor

La fuente de calor (Q) es la diferencia entre la velocidad de cambio temporal de la energía del medio por unidad de volumen ($\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$) y la velocidad de transferencia de energía por conducción en un volumen unitario ($\nabla \cdot (k \nabla T)$).

La ecuación (2), de aislamiento térmico, indica que no existe un flujo de calor a través de un límite dado. En el software estará representado por las fronteras de la geometría. En otras palabras representa el gradiente de temperatura a través del límite que debe ser cero y no debe existir una diferencia de temperatura a través de este.

$$-n \cdot (-k \nabla T) = 0 \quad (2)$$

Donde:

n : vector normal de la frontera

T: Temperatura absoluta [K]

k: Conductividad térmica

La ecuación (3), es la temperatura que Comsol permite ingresar como una condición para uno o varios de los límites, evitando que este se comporte como un aislante térmico.

$$T = T_0 \quad (3)$$

La ecuación (4), es la ley de enfriamiento de Newton o transferencia de calor por convección, la cual es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie (T) y el fluido (Text). La constante de proporcionalidad h (W/m²*K), se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$q_0 = h \cdot (T_{ext} - T) \quad (4)$$

La ecuación (5), representa el gradiente de temperatura, que es igual a la transferencia de calor por convección [2], [3].

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h \cdot (T_{ext} - T) \quad (5)$$

Las ecuaciones de Navier- Stokes, permiten la descripción de fluidos newtonianos, los cuales no tienen variación de su viscosidad en el tiempo. Para este proyecto el fluido está definido como aire, con el cual el software establece las ecuaciones de flujo no isotérmico teniendo en cuenta que será un flujo compresible, es decir, la densidad varía.

Al simular flujo de aire, es necesario verificar el número de Reynolds (ecuación (6)), el cual permite la caracterización del movimiento de un fluido, definiendo el tipo de flujo a utilizar. El número de Reynolds representa la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas. Cuando tiene un valor menor a 2000, las fuerzas viscosas dominan y tienden a amortiguar todos los disturbios, lo que conduce a un flujo laminar y cuando este número es mayor a 2000, la amortiguación en el sistema es muy baja, generando pequeñas perturbaciones que desencadenan interacciones no lineales, que pueden terminar en un estado caótico llamado turbulencia.

$$Re = \frac{\rho * U * L}{\mu} \quad (6)$$

Donde:

U: Escala de velocidad,

ρ : Densidad del fluido,

μ : Viscosidad dinámica del fluido,

L: Longitud representativa.

La ecuación (7), es la ecuación de momentum, la cual muestra los cambios de temperatura en relación a la velocidad del fluido.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F \quad (7)$$

La ecuación de continuidad o conservación de masa ecuación (8), significa que la variación temporal de la masa o densidad de masa, siempre se compensa con la divergencia del momento lineal. Si ésta es positiva se tiene un manantial de fluido, y si es negativa se tiene un sumidero.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (8)$$

La ecuación (9) representa la transferencia de calor en un fluido en la cual se tiene en cuenta la transferencia de calor por conducción y la velocidad de campo de éste (u).

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (9)$$

Donde:

p: Presión [kg/m^3]

μ : viscosidad dinámica del fluido

I: intensidad radiante

F: vector de fuerza del cuerpo

La ecuación (10), representa la condición de pared, la cual esta predeterminada por no deslizamiento, es decir, la velocidad de flujo de aire es cero. En el software esta opción separa el dominio de un fluido del dominio de un sólido.

$$u = 0 \quad (10)$$

Para la entrada y salida del flujo en la geometría que se establece en el software, emplea las ecuaciones (11) y (12), las cuales añaden un dominio imaginario al dominio computacional, con una longitud L, generando un flujo laminar en la entrada y salida. [4]

$$L_{ent} \nabla_i \cdot [-p_{ent} I + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)] = P_{ent} n \quad (11)$$

$$L_{ent} \nabla_i \cdot [-p_{ent} I + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)] = -P_{ent} n \quad (12)$$

2.1 Configuración de Comsol Multiphysics

Antes de realizar cualquier simulación es necesario establecer ciertos parámetros y procedimientos que influyen en el modelamiento del sistema, los cuales son fundamentales para obtener resultados confiables. Asimismo, en el software es posible definir diferentes rutas para su correcta configuración, por ello se plantean los pasos de la figura 2, los cuales dieron resultados estructurados en la elaboración de un proyecto.

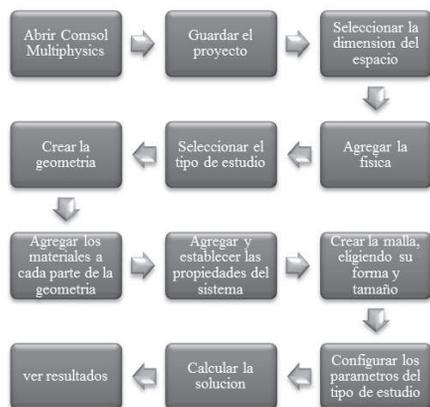


Figura 2. Procedimiento para crear un proyecto en Comsol Multiphysics.

3. METODOLOGÍA

En el desarrollo del proyecto fue necesario estructurar una metodología que permitiera avanzar y establecer cada fase, de tal forma que agrupara todos los aspectos necesarios para el diseño. Con ello se definieron cinco etapas generales para el desarrollo del proyecto (Ver figura 3). Una vez establecida la metodología se procedió a ejecutar cada una de las etapas en estricto orden.

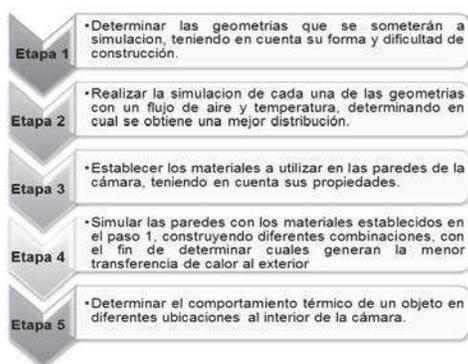


Figura 3. Metodología para el diseño de una cámara de ensayos térmicos.

La metodología descrita en el la figura 3 conduce a obtener un diseño apropiado, donde es necesario tener en consideración geometrías fundamentadas

en cubos y esferas, que desde el punto de vista constructivo tienen menor complejidad. Con estas geometrías se realizaran diferentes simulaciones en Comsol Multiphysics en las que se pretende analizar el comportamiento de un flujo de aire al interior de la geometría y su estabilidad térmica.

Con la geometría definida se procede a establecer los diferentes materiales requeridos para la construcción, teniendo en cuenta sus propiedades térmicas y mecánicas que presenten menor interferencia al colocar un objeto de prueba en diferentes puntos del interior de la cámara.

4. RESULTADOS

Como punto de partida, se establecieron criterios que permitieron dar un direccionamiento al diseño de la cámara.

4.1 Geometría

Uno de los parámetros para el diseño de la cámara, es la elección de la geometría. En primera instancia se opta por un volumen de aproximadamente 1m^3 , el cual permite la realización de pruebas y ensayos en interruptores termomagnéticos, además de contar con un espacio adecuado para la manipulación de los elementos que se pongan al interior. Como criterio de diseño se decidió trabajar con las geometrías ilustradas en la figura 4.

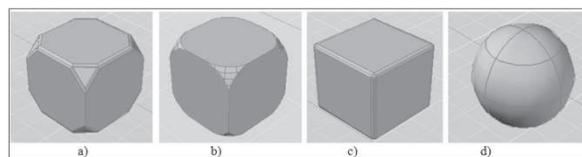


Figura 4. Geometrías simuladas. a) Cubo con esquinas truncadas y aristas redondeadas, b) Cubo con esquinas redondeadas, c) Cubo con aristas redondeadas, d) Esfera.
Fuente: Elaboración propia.

A nivel industrial los hornos que presentan mayor eficiencia son de tipo de convección, cuyo principio de funcionamiento radica en la recirculación de

aire (ver figura 5), ya sea por sus paredes o por el interior, a diferencia de los convencionales que se hace por radiación y resultan menos eficientes y con mayor dificultad para controlar la temperatura de forma uniforme en un volumen determinado.

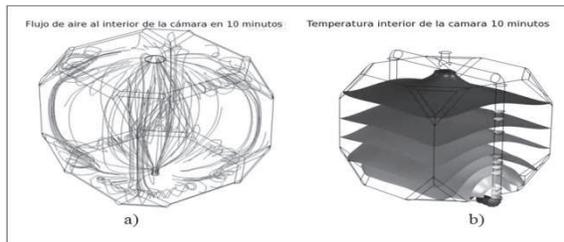


Figura 5. Flujo de aire al interior de la cámara en 10 minutos. a) Flujo de aire directo. b) Flujo de aire por paredes.

Fuente: Elaboración propia

En cada una de estas geometrías, se puso una entrada y salida de aire con un caudal variable y un diámetro fijo de 12cm. Posteriormente se concluye que con un caudal de $0.0084951 \text{ m}^3/\text{s}$, se presentaron menores efectos de turbulencia al interior y además de ser un valor establecido en la mayoría de ventiladores de uso común con alimentación en corriente continua. Se analizó que al tener un diámetro menor a la salida se presentaba una mejor distribución de flujo al interior de la cámara, por ello se definió un diámetro de salida de 5cm, el cual genera un flujo constante y laminar de aire, esto se puede comprobar mediante el valor del número de Reynolds y cada una de las variables que intervienen (figura 6).

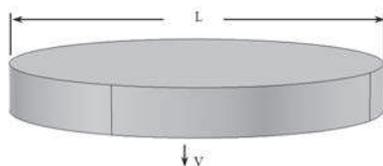


Figura 6. Diagrama número de Reynolds.

De esta forma se puede verificar que el flujo al interior de la cámara es laminar teniendo en cuenta que se desea observar el comportamiento del flujo y de la temperatura. Con el fin de analizar el comportamiento de temperatura se simularon las cuatro

geometrías, teniendo como resultado que la esfera tiene una estabilidad en 1 minuto, el cubo de aristas redondeadas y esquinas truncadas en 10 minutos, el cubo con esquinas redondeadas en 60 minutos y el cubo con aristas redondeadas en 80 minutos (ver figura 7).

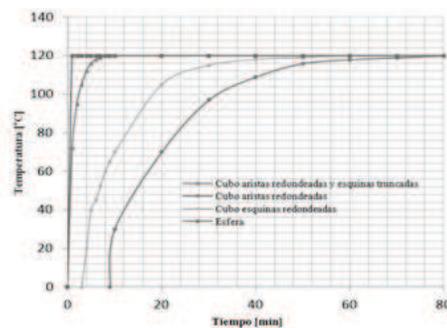


Figura 7. Temperatura vs tiempo, centro de las geometrías.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la construcción de una esfera representa mayor inversión y desde el punto de vista técnico mayor complejidad, se definió como geometría de diseño una que tuviese características similares a la esfera, por ello se estableció para la cámara emplear el cubo con aristas redondeadas y

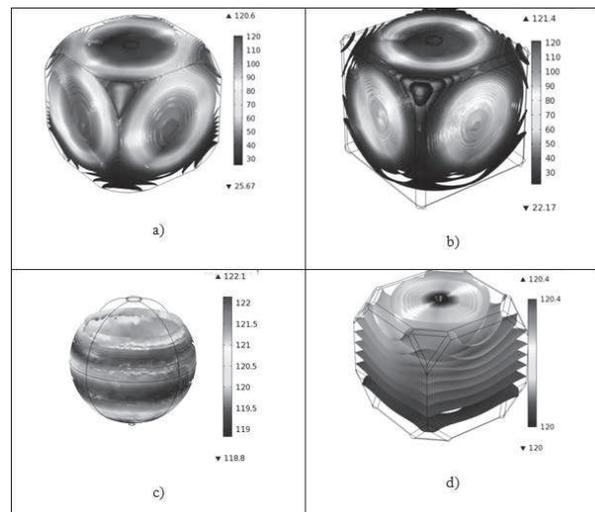


Figura 8. Distribución temperatura [°C] en el interior de las geometrías. a) Cubo esquinas redondeadas. b) Cubo aristas redondeadas. c) Esfera. d) cubo con esquinas truncadas y aristas redondeadas, 10 minutos

Fuente: Elaboración propia

esquinas truncadas, el cual presentó una distribución de temperatura con mayor uniformidad y en un intervalo de tiempo menor, como se observa en la figura 8.

Debido a que los objetos a ensayar se dispondrán en el centro de la cámara, se analizó el comportamiento del flujo y la temperatura en este punto, donde la velocidad posee un valor bajo y casi constante durante el tiempo de la prueba como lo muestra la figura 9, evitando cambios bruscos y ratificando el estado de flujo laminar que se presenta al interior.

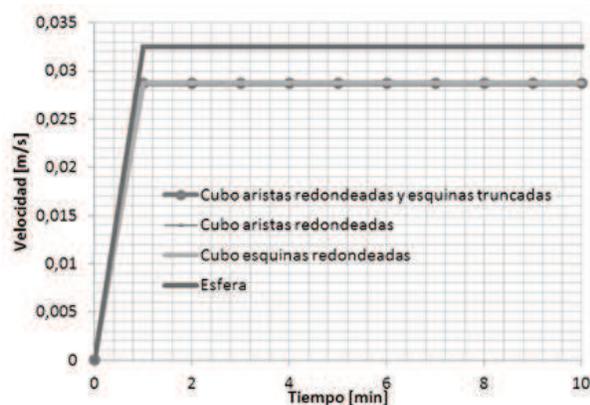


Figura 9. Velocidad flujo de aire centro de las geometrías.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Transferencia de calor en paredes

Antes de evaluar posibles geometrías se establece el espesor del aislante térmico y material que debe tener el envolvente de la cámara, debido a que al interior de ésta se tendrán temperaturas en un rango entre 20 y 120 °C, el cual cumpliría con la temperatura definida en estándares para pruebas en interruptores.

La cámara de ensayos térmicos debe tener una estructura en la que la transferencia de calor al exterior no presente grandes pérdidas de energía y no genere riesgo al contacto humano, ya que según estudios la piel humana puede soportar temperaturas de contacto de hasta 44 °C sin presentar que-

maduras; “por encima de estos valores se producen diferentes grados de lesión, directamente relacionados con la temperatura y el tiempo de exposición al agente causal”. [5]

Con el propósito de no superar la temperatura máxima de contacto se realiza el cálculo del espesor mínimo del aislante, teniendo como temperatura límite 35 °C en la superficie exterior. Así, la ecuación (13), relaciona las temperaturas de las superficies del aislante y la temperatura exterior, permitiendo obtener el valor del espesor.

$$esp = \frac{k * \left(T_{int} - T_{ext} - \left(\frac{1}{h_{conv,int}} + \frac{1}{h_{conv,ext}} \right) \right)}{(T_{sup_exp} - T_{ext}) * h_{conv,ext}} \quad (13)$$

Donde:

k: Conductividad térmica del aislante [W/mK]

Tint: Temperatura interna [K]

Text: Temperatura ambiente externo [K]

Tsup_ext: Temperatura superficie externa [K]

hconv_ext: Coeficiente de transferencia por convección externo [W/m²K]

hconv_int: Coeficiente de transferencia por convección interno [W/m²K] [6]

Con el fin de cumplir con estas condiciones se realizaron simulaciones fijando como posibles materiales para la pared interna aluminio y cobre, como aislante térmico fibra de vidrio y para la pared externa acero inoxidable, en los cuales se definieron parámetros de selección, como se indica en la tabla 1.

El espesor obtenido para el aislante se ajustó a un valor de 25 mm, al ser el valor mínimo producido en el aislante. Con los materiales definidos y el cálculo del aislante, se procedió a simular los diferentes espesores de las paredes, con una temperatura máxima de 120 °C al interior y garantizando una

Tabla 1. Especificaciones materiales de las paredes.

Material	Conductividad térmica [W/m*K]	Densidad [Kg/m³]	Espesor [mm]	Precio metro cuadrado [S]
Acero inoxidable	16,3	7800	1,2	67550 (1,2mx2,4m)
Aluminio	237	2698,4	1	30000
Cobre	400	8700	1	130000
Fibra de vidrio	0,035	25	25	72000

$$esp = \frac{0.035 \frac{W}{m \cdot K} \cdot \left(393.15 K - 293.15 K - \left(\frac{1}{25 \frac{m^2 \cdot K}{m^2 \cdot K}} + \frac{1}{10 \frac{m^2 \cdot K}{m^2 \cdot K}} \right) \right)}{(308.15 K - 293.15 K) \cdot 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

$$esp = 0.023 m$$

temperatura en la superficie exterior no perjudicial.

Se realizaron simulaciones para la parte interna (ver figura 10 a y b), empleando cobre y aluminio, debido a que la conductividad térmica en ellos es mucho mayor, ya que los electrones tienen gran facilidad para moverse, convirtiendo este movimiento en energía cinética, la cual se transforma en calor. Como aislante térmico se empleó la fibra de vidrio, la cual tiene una conductividad térmica muy baja ya que sus fibras entrelazadas forman burbujas de aire que retrasan el paso de calor, convirtiéndolo en uno de los mejores aislantes térmicos. Para la pared externa se considera idóneo el uso de acero inoxidable, ya que comúnmente es utilizado en recubrimientos de este tipo de equipos y por presentar resistencia a la corrosión.

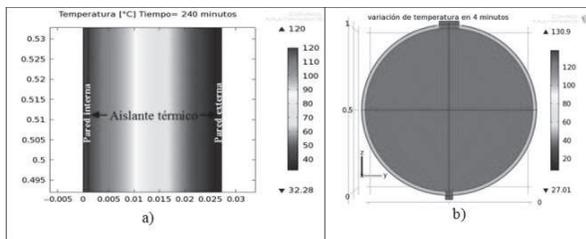


Figura 10. Variación de temperatura en las paredes. a) pared con aislante. b) geometría completa. Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el comportamiento de los materiales para la pared interna se concluye que los dos pre-

sentan buenas condiciones térmicas, por ello se pueden emplear como materiales de fabricación, aunque por costos y facilidad de manejo resulta apropiado emplear aluminio.

Teniendo en cuenta los resultados se puede observar en la figura 11 que la temperatura al exterior de la cámara se estabilizará aproximadamente en 25 minutos, independientemente del material utilizado en la pared exterior de la cámara, llegando a 32.28 °C.

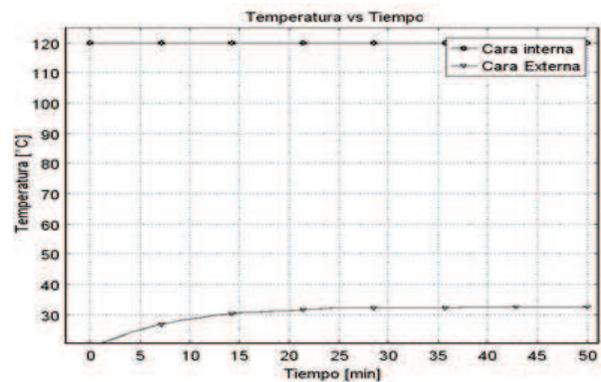


Figura 11. Temperatura vs tiempo, material pared interna Al. Material pared externa Acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia

A partir de los materiales definidos para las paredes se decidió simular con la esfera por ser la geometría de mayor estabilidad, teniendo en cuenta el dominio de las paredes y la capa del aislante térmico, despreciando la incidencia de las láminas de acero y aluminio, las cuales no presentan mayor influencia en el flujo de calor. De esta forma se obtuvo como resultado una variación despreciable respecto a la simulación de las paredes.

4.3 Simulación de flujo con objeto al interior

Partiendo de la geometría que se eligió y analizando la estabilización de temperatura al interior de la cámara, se procedió a realizar una simulación inicial con un objeto en el centro de geometría similar a la de un interruptor termomagnético, variando su

disposición con el fin de analizar los cambios de temperatura en éste, y permitiendo su estabilización con un tiempo de 6 horas, donde se observó que la superficie del objeto expuesta a la entrada de aire presenta un calentamiento mayor en un tiempo menor que su parte opuesta (ver figura 12).

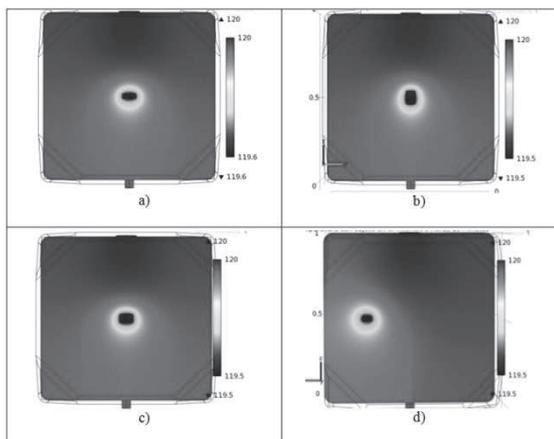


Figura 12. Distribución temperatura [°C] en el objeto al interior de la geometría, 5 horas 40 minutos. a) Posición 1. b) Posición 2. c) Posición 3. d) Posición 4. Fuente: Elaboración propia

A medida que se cambia la posición del objeto no se obtiene ningún cambio de temperatura o velocidad del flujo de aire significativo, a diferencia de su ubicación dentro de la cámara, ya que a medida que se acerca a la fuente del flujo de calor, la estabilidad térmica será más rápida, como se aprecia en la figura 13.

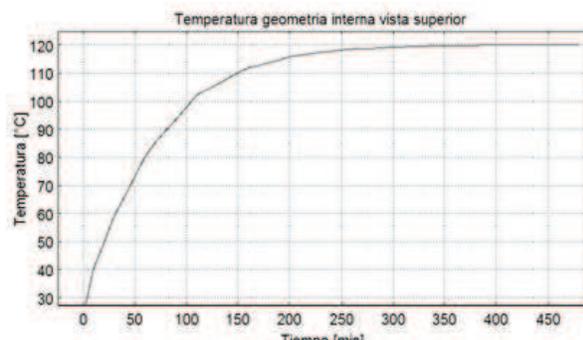


Figura 13. Temperatura geometría interna, superior. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se analiza que al realizar las simulaciones a un objeto en la cámara, éste presentará un mayor calentamiento en la superficie expuesta al flujo de calor. Por ello es importante tener presente el tiempo de estabilidad térmica del mismo, que según la norma IEC-947 recomienda un tiempo de 8 horas.

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A partir de los resultados obtenidos se tendrán en cuenta las siguientes especificaciones técnicas, las cuales permitirán definir parámetros y costos para su futura construcción. Como referencia final se recomienda un hexaedro de 1m³ aproximado, teniendo en cuenta que el diseño actual establece parámetros que permiten ampliar a realizar pruebas a otros dispositivos que pueden tener un tamaño mayor que un interruptor termomagnético.

5.1 Dimensiones

Las dimensiones se definen en dos partes: la parte interior y la exterior, siendo las dos de la misma geometría figura (14a, 14b y 14c).

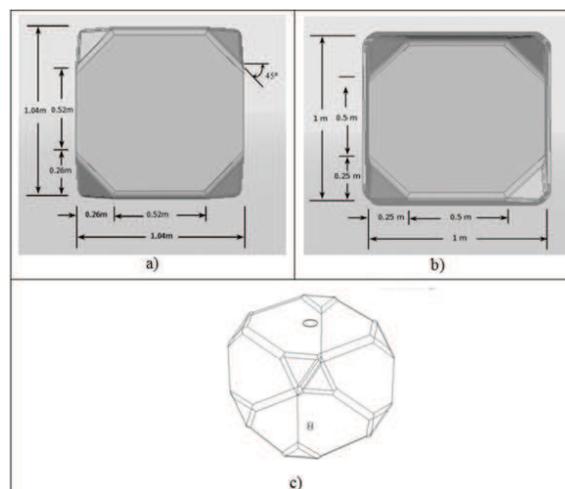


Figura 14. Dimensiones finales de la cámara. a) Parte exterior, b) Parte interior, c) Vista general. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las dimensiones de los octágonos en cada una de las paredes, las esquinas las formaran triángulos equiláteros de 36cm y 37cm para la pared interior y exterior respectivamente.

Las aristas superiores e inferiores donde se unen las paredes tendrán un redondeado aproximadamente de 5cm, lo que asegura el flujo uniforme al interior. El ducto de entrada de aire se puede disponer en la parte superior, inferior o lateral de la cámara. Tendrá un diámetro de 12cm y el ducto de salida tendrá uno de 6cm, los cuales estarán ubicados de forma simétrica, asegurando la ausencia de remolinos o turbulencia.

5.2 Especificaciones finales

Como material del acabado exterior de la cámara se recomienda acero inoxidable cold rolled por tener una mayor rigidez estructural y resistencia a la corrosión, cumpliendo con las especificaciones técnicas. En la parte interior de la cámara se empleara una lámina de aluminio que debe tener mínimo 1mm de espesor. En cuanto al material aislante térmico se empleara fibra de vidrio la cual se debe adquirir en forma de manta con espesor de 25mm.

Las simulaciones realizadas contemplaron una temperatura de operación de la cámara de entre 20 °C y 120 °C, los cuales pueden ser generados mediante un sistema calefactor definido en la etapa de construcción y control. Asimismo, se recomienda el uso de un ventilador que genere el flujo de entrada con un caudal de 0.0084 m³/s, al igual que el ventilador de salida.

La cámara esta en capacidad de adaptarse para la implementación de análisis termográfico al interior, el cual solo requerirá de una o más ventanas de tipo IR¹ en los costados, y de esta forma darle

una aplicación más con una cámara termográfica disponible en los laboratorios de Tecnología en Electricidad de la Facultad, siendo un aporte fundamental en el desarrollo tecnológico y científico de la Universidad.

La puerta debe tener un sellamiento hermético con el fin de no generar alteraciones al interior de la misma y mecanismos que eviten la transferencia de temperaturas riesgosas al usuario.

6. CONCLUSIONES

Con ayuda de herramientas computacionales como Comsol Multiphysics es posible realizar simulaciones que permitan conocer el comportamiento de fenómenos térmicos en diferentes geometrías y de esta forma obtener resultados confiables que conlleven a construir modelos o equipos específicos que beneficien la comunidad académica en general.

Fue posible diseñar una geometría que simulara de forma similar los comportamientos de una esfera, que resultó ser un cubo con aristas redondeadas y esquinas truncadas, el cual presento resultados favorables en el desarrollo del proyecto.

Con el diseño planteado se pudo simular el comportamiento de un objeto con geometría similar al de un interruptor termomagnético, dando cumplimiento a los parámetros térmicos definidos en la norma IEC 947 y a las necesidades iniciales en el desarrollo de futuros proyectos de investigación.

Se hace un aporte fundamental para la construcción y control de dispositivos de este tipo, los cuales son complemento primordial en el desarrollo científico y tecnológico de la Universidad Distrital.

¹ IR, hace referencia a ventanas que permiten el paso de radiación infrarroja y que es de uso en termografía.

REFERENCIAS

- [1]. Interruptores Para Protección Contra Sobre Corriente en Instalaciones Domesticas y Similares. NTC-2116. 1998.
- [2]. Incoprera, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4ª ed. Mexico: Pearson Education, 1996.
- [3]. COMSOL. Heat Transfer Module User's Guide. Comsol 4.0.,pp192,2010
- [4]. COMSOL. CFD Module User's Guide. Comsol 4.0, 308p, 2010.
- [5]. R.J Schwartz. "Algunos aspectos del manejo del paciente quemado en un servicio de cirugía infantil. A propósito de pacientes pediátricos II parte". Argent Dermatol, pp 165. 2008
- [6]. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. Madrid: IDEA, 2007.