

**BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS DE NUEVOS MATERIALES PARA EL MEJORAMIENTO EN
LAS CADENAS DE FRIO**

IVAN DARIO CRUZ PLATA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA
2010**

**BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS DE NUEVOS MATERIALES PARA EL MEJORAMIENTO EN
LAS CADENAS DE FRIO**

IVAN DARIO CRUZ PLATA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Químico

DIRECTOR:

DIONISIO LAVERDE CATAÑO
Ingeniero Metalúrgico Ph.D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA
2010

DEDICATORIA

*A los seres superiores por mostrarme el camino y concederme la fortaleza necesaria,
A mis padres Gustavo Cruz y María del Carmen Plata por su paciencia, su ayuda, su dedicación,
sacrificio y constante aliento,
A mi hermano Danny Alexander por su guía y lealtad,
A mi tío Carlo Julio quien fue el viento necesario para alzar vuelo,
Y a mi abuela Lala, por su cariño y protección.*

IVAN CRUZ.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por permitirme la formación académica, ética y profesional.

SANOFI-AVENTIS DE COLOMBIA S.A. por darme la oportunidad de desarrollar mis prácticas empresariales en esta magnífica empresa.

Ingeniero Metalúrgico Ph.D. Dionisio Laverde Cataño, director del proyecto por su ayuda, recomendaciones y aportes.

Todas las personas que fueron de gran ayuda en la consecución de este objetivo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. FUNDAMENTO TEORICO	17
1.1. GENERALIDADES SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR	17
1.2. MATERIALES AISLANTES	18
1.3. IMPACTO AMBIENTAL	21
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	24
2.1. ESTUDIO Y CARACTERIZACION DE MATERIALES AISLANTES	24
2.2. IDENTIFICACION DE LOS PROVEEDORES Y OBTENCION DE LOS MATERIALES	26
2.3. REALIZACION DE PRUEBAS A LOS MATERIALES SELECCIONADOS	27
3. ANALISIS DE RESULTADOS	31
3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS	31
3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	31
3.3. ANALISIS ECONOMICO	37
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIÓN	41
BIBLIOGRAFIA	42

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura molecular del Polietileno	20
Figura 2. Estructura molecular del Poliestireno	20
Figura 3. Diagrama del procedimiento de la investigación sobre materiales aislantes	24
Figura 4. Duración de la cadena de frio en las pruebas realizadas	32
Figura 5. Comparación de los tiempos de cadena de frio en la primera prueba	32
Figura 6. Comparación de los tiempos de cadena de frio en la segunda prueba	33
Figura 7. Comparación de los tiempos de cadena de frio en la tercera prueba	33
Figura 8. Rendimiento aislante del icopor en Barranquilla	34
Figura 9. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la primera prueba	35
Figura 10. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la segunda prueba	36
Figura 11. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la tercera prueba	36

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventas netas en COP de productos bajo cadena de frío.	13
Tabla 2. Centros de Distribución a nivel nacional.	15
Tabla 3. Conductividades térmicas de los principales aislantes.	25
Tabla 4. Proveedores de neveras para envíos bajo cadena de frío.	26
Tabla 5. Especificaciones de embalaje para productos transportados bajo cadena de frío.	27
Tabla 6. Dimensiones de los separadores térmicos usados actualmente en sanofi-aventis.	29
Tabla 7. Propiedades técnicas de los materiales seleccionados.	31
Tabla 8. Datos generales de las pruebas realizadas.	31
Tabla 9. Comparación de duración de la cadena de frío en los materiales aislantes.	34
Tabla 10. Precios por nevera ofrecidos por los proveedores.	37
Tabla 11. Gastos generados por el cambio de geles y el cambio de material de las neveras.	38

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PRODUCTOS DE CADENA DE FRIO DISTRIBUIDOS POR SANOFI-AVENTIS DE COLOMBIA S.A.	44
ANEXO B. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA PRIMERA PRUEBA.	45
ANEXO C. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA SEGUNDA PRUEBA.	46
ANEXO D. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA TERCERA PRUEBA.	47
ANEXO E. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA EL EPS EN BARRANQUILLA.	48

RESUMEN

TÍTULO

BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS DE NUEVOS MATERIALES PARA EL MEJORAMIENTO EN LAS CADENAS DE FRÍO.ⁱ

AUTOR

IVAN DARIO CRUZ PLATAⁱⁱ

PALABRAS CLAVES

Materiales aislantes, cadena de frío, medicamentos termosensibles

DESCRIPCIÓN

El 20% de los productos farmacéuticos vendidos en Colombia son medicamentos termosensibles, estos necesitan estar a una temperatura entre 2 y 8 °C para conservar su estabilidad. Actualmente se distribuyen en contenedores térmicos (neveras) sellados herméticamente fabricados en poliestireno expandido (icopor), que con los elementos adicionales para su embalaje (forma en la cual se empacan estos productos) garantizan 48 horas de duración de la temperatura en el rango de refrigeración. Sin embargo cuando estos medicamentos son enviados a ciudades muy alejadas del centro de distribución donde su transporte dura más de 48 horas a estas neveras se les debe hacer cambio de geles refrigerantes teniendo que abrir los contenedores, exponiendo los medicamentos a cambios bruscos de temperatura, sometiéndolos a una manipulación indebida y aumentando los riesgos de perturbar su eficacia.

Por esta razón se decidió aumentar en 12 horas el tiempo de duración de la cadena de frío, mediante la búsqueda de materiales alternativos con los que se fabrican las neveras de transporte, encontrándose dos materiales: la espuma de poliuretano (FPU) y el poliestireno extrusado (XPS). Se les realizaron pruebas en diferentes partes del país, encontrándose que la espuma de poliuretano (FPU) es el material que presenta mejores rendimientos como aislante,

El análisis económico indica que los costos para utilizar este nuevo material aumentan un 25%, sin embargo este aumento en el precio es una inversión pensando en los beneficios recibidos por el uso de este nuevo material.

ⁱ Proyecto de grado.

ⁱⁱ Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Ingeniero Metalúrgico Ph.D. Dionisio Laverde Cataño.

SUMMARY

TITLE

SEARCH FOR ALTERNATIVES OF NEW MATERIALS FOR IMPROVEMENT IN THE COLD CHAIN.ⁱ

AUTHOR

IVAN DARIO CRUZ PLATAⁱⁱ

KEY WOKDS

Insulating materials, cold chain, thermosensitive drugs

DESCRIPTION

20% of pharmaceuticals sold in Colombia are heat-sensitive drugs, this need to be at a temperature between 2 and 8 ° C to preserve its stability. Currently distributed in thermal containers (coolers) made hermetically sealed expanded polystyrene (Styrofoam), which with additional elements for packaging (which is how these products packaged) guarantee 48-hour temperature in the range of cooling. However, when these drugs are shipped to cities far from the distribution center where the transport takes more than 48 hours at these refrigerators should they change refrigerant gel having to open the containers, giving the drug to sudden temperature changes, subjecting to tampering and increasing the risk of disrupting their effectiveness.

For this reason we decided to increase by 12 hours the duration of the cold chain, by finding alternative materials that are manufactured with the transport refrigerators, standing two materials: polyurethane foam (FPU) and extruded polystyrene (XPS). After testing different parts of the country, with the foam polyurethane (FPU) is the material that provides better performance as an insulator.

The economic analysis indicates that costs for using this new material increased by 25% compared to the styrofoam used currently, however this increase in price is an investment considering the benefits received by using this new material.

ⁱ Work Degree.

ⁱⁱ Physicochemical Engineering Faculty, School of Chemical Engineering, Director Metallurgical Engineer Ph.D. Dionisio Laverde Cataño.

INTRODUCCIÓN

La principal función de la industria farmacéutica comprende la producción de principios activos, principios biológicos, antibióticos, y vitaminas. Todos los medicamentos están elaborados a partir de un componente dinámico que es una molécula cuya acción en el organismo permite el alivio o cura de alguna enfermedad [1]. Existen moléculas sensibles que se ven afectadas en mayor medida por la temperatura, a los medicamentos elaborados con estas moléculas se les conoce como *Termolábiles* o *Termosensibles*, por esta razón, para garantizar su estabilidad y evitar que sean expuestos a condiciones riesgosas que puedan disminuir la efectividad del medicamento, hay que mantener estos productos refrigeradosⁱ [2]. El 20% de todos los productos farmacéuticos vendidos son sensibles a la temperatura, COP 9.108.780.216 del mercado farmacéutico de sanofi-aventis de Colombia S.A. entre Enero de 2008 a Junio de 2009 estuvo representado por productos sensibles a la temperatura (Tabla 1).

Tabla 1. Ventas netas en pesos de productos manejados bajo cadena de frío.

CIUDADES DESTINO	TOTAL VENDIDO (COP) (Enero 2008 A Junio 2009)
ARMENIA	\$ 40.425.731,15
BARRANQUILLA	\$ 480.873.906,61
BOGOTA	\$ 4.905.503.240,90
BUCARAMANGA	\$ 342.988.056,18
CALI	\$ 1.122.511.189,12
CARTAGENA	\$ 42.188.440,27
CHIA	\$ 1.172.500,00
CUCUTA	\$ 26.943.903,44
ENVIGADO	\$ 192.507.068,95
FLORENCIA	\$ 6.641.713,72
IBAGUE	\$ 13.337.513,00
IPIALES	\$ 2.496.634,00
MANIZALES	\$ 62.404.073,71

ⁱ Las siguientes son las familias de temperaturas específicas determinadas por la USP (United States Pharmacopeia) para la industria farmacéutica:

- *Refrigerado*, de 2 a 8 °C
- *Congelado*, de -20 a -10 °C
- *No Congelar*, > 0 °C
- *Congelación Criogénica*, de -70 a -180 °C

MEDELLIN	\$ 823.439.531,26
MONTERIA	\$ 21.862.655,44
NEIVA	\$ 111.602.314,80
PALMIRA	\$ 301.828,00
PASTO	\$ 36.582.531,49
PEREIRA	\$ 617.551.279,18
POPAYAN	\$ 5.861.562,57
SANTA MARTA	\$ 6.269.259,28
SINCELEJO	\$ 48.423.743,51
SOGAMOSO	\$ 3.004.177,15
SOLEDAD	\$ 1.620.200,00
TULUA	\$ 20.744.498,17
TUNJA	\$ 7.880.296,00
VALLEDUPAR	\$ 134.074.151,59
VILLAVICENCIO	\$ 18.309.951,74
ZIPAQUIRA	\$ 11.258.264,22
Total	\$ 9.108.780.216

Sanofi-aventis es una multinacional francesa con sede en más de 100 países alrededor del mundo, en los 5 continentes y con cerca de 100000 empleados a nivel mundial. Sanofi-aventis de Colombia S.A. tiene una planta de producción de medicamentos en Cali, donde producen los medicamentos de la línea genérica WINTHROP PHARMACEUTICALS. Sin embargo, la mayoría de los productos de la empresa, de la línea comercial (sanofi-aventis) son importados. El centro de distribución nacional y la sede administrativa se encuentran en Bogotá, hacen parte de las funciones de este centro el almacenamiento, comercialización y distribución de medicamentos, estos deben ser almacenados y transportados de tal manera que se garantice su seguridad y se eviten aquellas condiciones riesgosas para los productos, en especial aquellos termosensibles [3], estos medicamentos se manejan bajo cadena de fríoⁱ. Los productos sensibles a la temperatura son enviados vía terrestre en neverasⁱⁱ selladas herméticamente con geles refrigerantes en su interior para que la temperatura se mantenga en el rango de refrigeración; al ser enviados a zonas

ⁱ La *Cadena de Frío* es el sistema de conservación, manejo y distribución de los productos (alimentos, medicamentos y/o vacunas) desde el laboratorio fabricante hasta el usuario final, manejados en un intervalo específico de temperatura. Para medicamentos termosensibles generalmente se utilizan temperaturas específicas de refrigeración.

ⁱⁱ Recipientes fabricados con materiales aislantes que se utilizan como medio para transportar medicamentos termosensibles.

alejadas de los centros de recepción de las diferentes ciudades del país, o aquellas zonas donde su envío dure más de 48 horas es necesario hacer a la nevera un cambio de geles refrigerantes (Tabla 2).

Tabla 2. Centros de Distribución a nivel nacional

CIUDADES DESTINO	CIUDADES CON CENDIS ⁱ (CENTROS DE DISTRIBUCIÓN)	CIUDADES DONDE SE HACEN CAMBIOS DE GELES
ARMENIA		X
BARRANQUILLA	X	
BOGOTA	X	
BUCARAMANGA	X	
CALI	X	
CARTAGENA	X	
CHIA		
CUCUTA	X	
ENVIGADO		
FLORENCIA		X
IBAGUE	X	
IPIALES		X
MANIZALES		
MEDELLIN	X	
MONTERIA		X
NEIVA		X
PALMIRA		X
PASTO		X
PEREIRA	X	
POPAYAN		X
SANTA MARTA		X
SINCELEJO		X
SOGAMOSO		
SOLEDAD		X
TULUA		X
TUNJA		
VALLEDUPAR		X
VILLAVICENCIO		
ZIPAQUIRA		

Es de anotar que si el producto llega un fin de semana al CenDis -Centro de Distribución- y tiene que ser entregado al cliente al siguiente día hábil laboral, se le debe hacer cambio de geles

ⁱ Open Market, operador logístico de sanofi-aventis, es el encargado del almacenamiento y distribución de los medicamentos; para ello cuenta con centros de distribución en las principales ciudades del país.

Para realizar el cambio de geles refrigerantes, es necesario abrir la nevera sellada en la que es transportado el medicamento, cuando esto pasa, el producto es sometido a una manipulación indebida, aumentando los riesgos de perturbar su eficacia. Sanofi-aventis de Colombia ha decidido evitar el cambio de geles en los envíos a cualquier parte del país, aumentando el tiempo que dura actualmente la cadena de frío (de 48 a 60 horas), mediante la búsqueda de materiales alternativos para la fabricación de las neveras utilizadas en el envío de medicamentos manejados bajo cadena de frío, estos deben proporcionar una mejora (mayor tiempo) en la conservación de calor, y que posean una mejor capacidad de aislación térmica. También se busca disminuir el impacto ambiental en la disposición final de estos materiales para que así estén de acuerdo a la normatividad HSE (Health, Security, Environment), esta política de salud, seguridad y medio ambiente autorizada por la casa matriz sanofi-aventis Francia, está basada en principios que buscan proteger el medio ambiente.

En la presente investigación se encontraron dos materiales que cumplen con los principales objetivos propuestos; estos son: la *ESPUMA DE POLIURETANO (FPU)*, y el *POLIESTIRENO EXTRUSADO (XPS)*.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES SOBRE LA TRANSFERENCIA DEL CALOR

El calor es una forma de energía que se transmite debido al gradiente negativo de temperaturas, esto es, la densidad de flujo de calor va desde el área de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. Existen tres tipos fundamentales de transferencia de calor y estos pueden ocurrir al mismo tiempo [4], [5]:

- **Conducción**, es la transferencia de calor desde una parte a otra de un cuerpo, o bien desde una superficie a otra que estén en contacto físico, sin desplazamiento apreciable de sus partículas, ya que su mecanismo fundamental es el transporte de energía debido al movimiento de las moléculas constituyentes de dicho cuerpo. La transferencia de calor por conducción se define mediante la ley de Fourier de transmisión de calor, esta ley es la ecuación diferencial fundamental para la transferencia de calor debido al transporte molecular de energía.

$$q_y = -K \frac{dT}{dy}$$

donde:

q_y = Velocidad de flujo de calor por unidad de área

$-\frac{dT}{dy}$ = Velocidad de cambio de la temperatura con la distancia

K = Constante llamada Conductividad térmica

- **Convección**, donde el calor es transportado por el movimiento global de un fluido. Existen dos tipos; convección natural y convección forzada, en la primera el movimiento del fluido se debe a diferencias de densidad ocasionadas por diferencias de temperatura, y en la convección forzada, el movimiento del fluido se produce por medios mecánicos.

- **Radiación**, Transferencia de calor por un mecanismo electromagnético que permite el transporte de energía mediante un movimiento ondulatorio a la velocidad de la luz a través de regiones del espacio ausentes de materia. La radiación térmica es mucho más sensible a la temperatura que los fenómenos de conducción y convección, puesto que la emisividad de energía radiante aumenta proporcionalmente con la cuarta potencia de la temperatura absoluta a la que se encuentra el cuerpo [6].

1.2 MATERIALES AISLANTES

Los aislantes térmicos son materiales caracterizados por una alta resistencia a la transferencia de calor, estableciendo una barrera entre dos medios que tenderían naturalmente a igualar sus temperaturas [7]. La capacidad aislante de cada material se evalúa mediante las siguientes propiedades físicas [8]:

- **Conductividad Térmica (k)**, Propiedad física propia de cada material, que describe la velocidad a la que se conduce el calor, considerándolo como transporte molecular de energía. Cuanto menores sean los valores de este coeficiente mayor capacidad de aislamiento térmico posee el material. Las unidades en el SI son [W / mK].
- **Resistencia térmica (R)**, Capacidad de un material de oponerse al flujo de calor. La resistencia térmica de un material homogéneo es igual al inverso de la conductividad térmica (k) multiplicada por el espesor del material (ϵ).

$$R = \frac{\epsilon}{k}$$

La resistencia térmica total debida a la superposición de materiales homogéneos en serie, es igual a la sumatoria de las resistencias térmicas de cada material homogéneo.

$$R_T = \sum_1^n R_n$$

A mayores valores de resistencia térmica mayor capacidad aislante posee el material. Las unidades en el SI son [$\text{m}^2 \text{K} / \text{W}$].

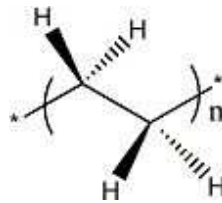
Los principales materiales usados como aislantes térmicos en la fabricación de neveras para envíos bajo cadena de frío son las espumas poliméricas, fabricadas con polímeros mediante diversos procesos como son los de extrusión o expansión que permiten que el material final sea un material poroso con determinada cantidad de aire o gas (dependiendo del proceso de fabricación) entre los poros del material, lo que aumenta su resistencia al flujo de calor, disminuyendo de esta forma la conductividad térmica con respecto al polímero homogéneo (no poroso). Estos materiales poseen una mayor capacidad aislante a menor costo, permiten una fácil manipulación en la fabricación de las neveras de envío, no presentan ningún tipo de propiedades corrosivas para los medicamentos termosensibles, su estabilidad química y física es mayor con respecto a la temperatura, humedad, oxidación y diversos agentes climáticos en comparación a otros materiales aislantes no poliméricos [9].

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de moléculas de menor tamaño llamadas monómeros, se sintetizan a través de una reacción llamada *polimerización*, este es un proceso químico en el que se unen varias moléculas, por acción del calor, un catalizador o la luz. Estas pequeñas moléculas son generalmente de carácter insaturado, al unirse forman moléculas con distintas propiedades y de elevado peso molecular [10]. Los siguientes son los principales materiales usados como aislantes térmicos:

- **ESPUMA CELULOSICA**, Fabricada a partir de la celulosa; material microporoso, completamente ignífugo, de color blanco, fácilmente manipulable, consta de una gran capacidad aislante y fonoabsorbente.
- **ESPUMA DE POLIETILENO**, Fabricada a partir del Polietileno, el cuál es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n$ (Figura 1). El

polietileno es una resina termoplástica, semicristalina, perteneciente a la familia de las poliolefinas, que provienen de los hidrocarburos simples, son materiales translúcidos, ligeros, resistentes y flexibles.

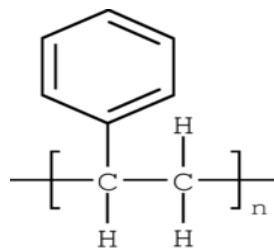
FIGURA 1. Estructura molecular del Polietilenoⁱ



Esta espuma se caracteriza por ser económica, de fácil instalación y manipulación, posee buenas propiedades mecánicas y químicas, como también una alta resistencia a la humedad, su rendimiento como aislante térmico es de carácter medio, en general es de color blanco o color aluminio.

- **ESPUMA DE POLIESTIRENO**, Fabricada a partir del poliestireno. Este es un polímero termoplástico de fórmula química $(C_8H_8)_n$ (Figura 2).

FIGURA 2. Estructura molecular del Poliestirenoⁱⁱ



Se encuentran dos clases de espumas de poliestireno, de acuerdo al proceso mediante el cual se elabora la espuma: El poliestireno expandido (EPS, siglas en inglés). Consiste en

ⁱ <http://www.quiminet.com/liga/polimeros/Polietileno.html>

ⁱⁱ <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Polystyrene.png>

95% de poliestireno y 5% de un gas que forma burbujas reduciendo la densidad del material, y el poliestireno extruido (XPS por sus siglas en ingles) que comparte muchas características con el poliestireno expandido, pues su composición química es idéntica: 95% de poliestireno y 5% de gas (en los procesos actuales se utiliza el dióxido de carbono), la diferencia consiste en que al extrusionarlo produce una estructura de burbuja cerrada, lo que le da al XPS ciertas características técnicas específicas: una baja conductividad térmica (menor que el EPS), excelente resistencia mecánica, alta durabilidad, siendo un aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades. El XPS presenta una baja absorción de agua (inferior al 0.7% a inmersión total), además de un bajo peso y una fácil manipulación [11].

- **ESPUMA DE POLIURETANO**, Fabricada a partir del Poliuretano (FPU según sus siglas en ingles), se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato, de formula química $(-R_2-O-CO-NH-R_1-NH-CO-O-R_2-)_n$; R1 del isocianato y R2 del polioliol. Se subdivide en dos grandes grupos, termoestables y termoplásticos (TPU según sus siglas en ingles). Los poliuretanos termoestables más habituales son espumas de FPU utilizadas como aislantes térmicos, el cuál contiene una estructura de celdas muy pequeñas cerradas que contienen gases de baja conductividad térmica (especialmente dióxido de carbono) formados en la reacción de polimerización, otorgándole a este material su excelente capacidad aislante. Cabe resaltar que el FPU termoestable está libre de agentes CFC (clorofluorocarbonados) perjudiciales para el medio ambiente, además ofrece una gran resistencia a temperaturas extremas (desde -50 °C a 110 °C) manteniendo todas sus propiedades intactas [12].

1.3 IMPACTO AMBIENTAL

A raíz de la creciente conciencia ambiental, y debido a las evidentes consecuencias ecológicas que se viven en las últimas décadas, se hacen frecuentes las regulaciones a las industrias en los procesos de fabricación de productos, para que de esta forma no se utilicen materias primas que

perjudiquen el ambiente, una de estas regulaciones se encuentra descrita en el protocolo de Montreal [13], en la cual se prohíbe el uso de los gases CFC (clorofluorocarbonados), así en la producción de la mayoría de espumas de polímeros usadas como aislantes se han desarrollado nuevos procesos que involucran gases como el CO₂ (dióxido de Carbono); especialmente en la producción de las espumas de poliestireno extrusado y poliuretano, pues debido a sus propiedades físicas en particular sus conductividades térmicas (más bajas que las demás) son muy usadas en la industria del aislamiento térmico.

Las espumas de polímeros no son fácilmente reciclables, puesto que estas son macromoléculas que no son degradadas completamente por la naturaleza, por ejemplo, el poliestireno en especial el EPS no es un material biodegradable, se calcula que la naturaleza tardaría aproximadamente 1000 años en descomponer su estructura en moléculas mínimas sin degradarlo completamente, por esta razón no es deseable verterlo en los rellenos sanitarios. Sin embargo, debido a la creciente cantidad de residuos, resulta necesario crear métodos alternativos para su reciclaje.

Las actuales soluciones para el tratamiento final de estos materiales dependen del tipo de espuma a reciclar, además de factores económicos y ambientales; de acuerdo a esto hay dos formas principales de reciclaje para estas espumas, el reciclaje mecánico, y la incineración [14].

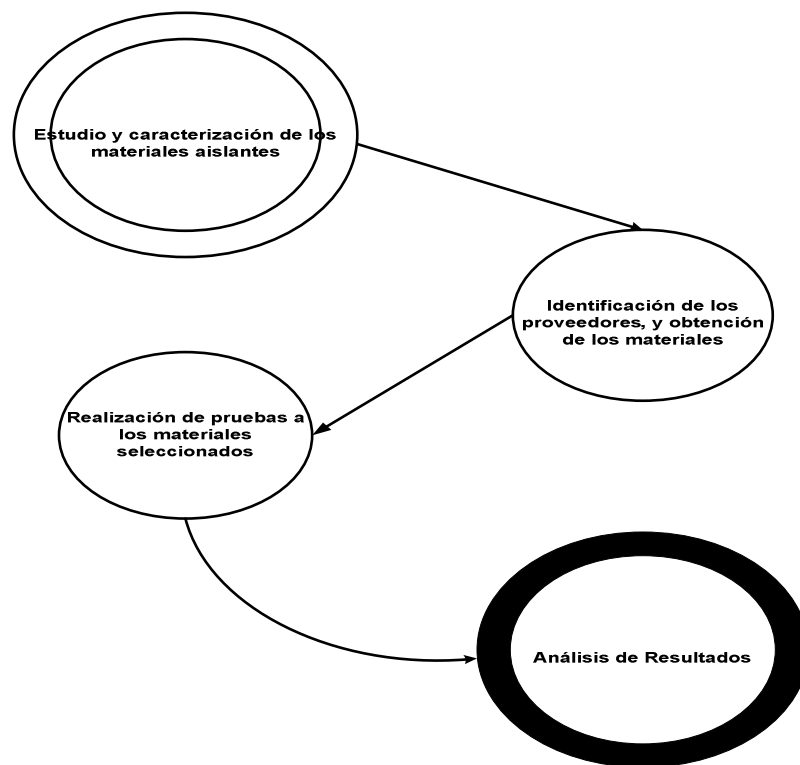
El reciclaje mecánico es una tecnología versátil en un amplio rango de aplicaciones, consiste en despedazar mecánicamente el material reciclado o pulverizarlo, posteriormente mezclarlo con material nuevo para formar los productos, que pueden contener hasta un 50% de material reciclado. Otra de las soluciones consiste en la incineración, que es una técnica ecológica, económica y una de las formas más efectivas de reducir estos materiales que de otra forma terminarían en los vertederos. Además los polímeros no pueden ser reciclados de forma indefinida por el continuo deterioro que sufren en los procesos de reciclado. Sin embargo, uno de los mayores inconvenientes de este proceso es la emisión de CO₂ producto de la incineración, ya que este gas

es responsable del efecto invernadero, aún así, esta tecnología ha avanzado a pasos agigantados, asegurando la emisión controlada de gases.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La figura 3 esquematiza la metodología empleada en la elaboración de la presente investigación.

Figura 3. Diagrama del procedimiento de la investigación sobre materiales aislantes.



2.1 ESTUDIO Y CARACTERIZACION DE MATERIALES AISLANTES

Mediante búsquedas en la literatura, por medio de referencias bibliográficas, de artículos especializados sobre materiales aislantes y textos científicos sobre transferencia de calor se identificaron los siguientes materiales (tabla 3), que según sus propiedades físicas son los que presentan un mejor desempeño como aislantes térmicos.

Tabla 3. Conductividades térmicas de los principales aislantes.

MATERIAL	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA PROMEDIO [W/mK]
Espuma Celulósica	0.030 - 0.035
Espuma Polietileno	0.035 – 0.045
Espuma Poliestireno	EPS 0.036 – 0.038
	XPS 0.029 - 0.033
Espuma Poliuretano	FPU 0.020 – 0.023

Para escoger los materiales se tienen en cuenta sus propiedades físicas; especialmente que presenten una alta resistencia al flujo de energía térmica. Al escoger de la tabla 3 aquellos que presentan el coeficiente de conductividad promedio más bajo, se tienen: la espuma de poliestireno extruido XPS y la espuma de poliuretano FPU; además estos materiales son muy usados en la industria por lo que sus procesos de reciclaje han evolucionado de forma importante, el 20% de los residuos que son reciclados en el mundo son plásticos, de estos el 5% son poliuretanos y aproximadamente el 7% son poliestirenos. Al ser estos materiales destinados para el envío de medicamentos termosensibles, por condiciones de seguridad estas neveras son utilizadas solo una vez cada envío, por esta razón, lo más económico y lo más conveniente para su disposición final es la incineración de estas neveras. Según el American Chemistry Council [15], si estas espumas poliméricas son incineradas apropiadamente a altas temperaturas, los únicos compuestos químicos generados son vapor de agua, dióxido de carbono, hollín y algunos volátiles que en una planta de incineración de residuosⁱ se eliminan antes que los gases residuales salgan al ambiente, el volumen final del residuo es aproximadamente el 1% de su volumen inicial.

ⁱ Sanofi-aventis como parte de su política ambiental contrata para las destrucciones de sus medicamentos vencidos y RESPEL (residuos peligrosos), la planta de tratamiento e incineración SHYNTYA QUIMICA, la cual garantiza una emisión controlada de gases, esta planta tiene su sede en la ciudad de Santa fe de Bogotá.

2.2 IDENTIFICACION DE LOS PROVEEDORES Y OBTENCION DE LOS MATERIALES

Luego de haber identificado los materiales a utilizar se buscaron proveedores a nivel nacional que ofrecieran soluciones de embalaje para los envíos manejados bajo cadena de frío (tabla 4).

Tabla 4. Proveedores de neveras para envíos bajo cadena de frío.

PROVEEDOR	MATERIAL (SIGLAS EN INGLES)
Grupo A + P Advance	EPS, XPS
Biothermics de Colombia	EPS, PU
Friofresh	XPS
Nissi Tech	EPS, XPS
Thermo Ice de Colombia	EPS
DHL	PU, XPS

Habiendo identificado los proveedores, se determinaron aquellos que manejaran los materiales escogidos; la espuma de poliestireno extrusado y la de poliuretano. También se requería que ofrecieran además de las neveras de transporte, los elementos adicionales necesarios en el embalaje de medicamentos manejados bajo cadena de frío utilizados en los procedimientos habituales para el envío de productos refrigerados, estos elementos son estandarizados mediante protocolos obligatorios en las empresas farmacéuticas, estos aseguran que todos los procesos se realicen de manera uniforme y mediante delineamientos predefinidos. Estos elementos son los geles refrigerantes (los cuales son usados una vez por envío) y los sensores necesarios para hacer el seguimiento de la temperatura (estos, por ser herramientas de gran precisión, son costosos y por esto no desechables). Luego de evaluar la disposición de estos elementos y su fácil consecución, se hizo un estudio económico comparativo entre los proveedores, escogiendo para realizar las pruebas dos de ellos; Biothermics de Colombia S.A. y Friofresh S.A.

2.3 REALIZACION DE PRUEBAS A LOS MATERIALES SELECCIONADOS

Al tener a disposición las neveras fabricadas a partir de los materiales seleccionados, junto con los demás elementos requeridos para realizar los embalajes de envíos bajo cadena de frío, se plantearon 3 pruebas por cada material con diferentes temperaturas ambientales para monitorear el tiempo de duración de la temperatura en el rango deseado mediante sensores térmicos, se usaron dos de estos para cada pruebaⁱ, los cuales eran colocados uno al interior de la nevera junto al producto, y otro al exterior para monitorear la temperatura ambiente

Estas pruebas se diseñaron teniendo en cuenta que las neveras tuvieran el mismo volumen y las mismas dimensiones de las que se utilizan actualmente en sanofi-aventis según el protocolo PCCF-001-02 para productos de cadena de frío [16] (tabla 5).

Tabla 5. Especificaciones de embalaje para productos transportados bajo cadena de frío.

NOMBRE NEVERA USADA	CAPACIDAD (litros)	UNIDADES APROX. A DESPACHAR	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	# GELES USADOS	# GELES PARTE SUPERIOR	# GELES PARTE INFERIOR	# GELES LATERALES
CT20,5	8	1-10	20,5	20,5	21,5	3	1	0	2
CT34	39	11-240	34,5	34,5	35,5	8	1	4	3
CT38,5	57	240-340	38,5	38,5	40,5	11	4	2	5
CT-TETANOL	80	340-540	61,5	46,5	34	15	4	5	6

Según se observa en la tabla 5, para distribuir los productos termosensibles existen 4 volúmenes diferentes a utilizar según el número de unidades a enviar, Estas neveras son fabricadas en poliestireno expandido (EPS), las paredes tienen un grosor de 5 cm y garantizan 48 horas de duración de la temperatura en el intervalo de refrigeración en los envíos de medicamentos

ⁱ Se adquirieron sensores de temperatura de dos marcas diferentes, WineSafe por parte del proveedor Biothermics de Colombia S.A y Tesma por parte de FrioFresh S.A.

termolábiles a cualquier parte del país. Sanofi-aventis decidió realizar la presente investigación con base en la CT34 por ser esta la más utilizada en los envíos diarios, además por razones de seguridad, es exclusivamente en esta nevera que se transporta y se distribuye a cualquier parte del país el medicamento más costoso comercializado por sanofi-aventis, el Somatuline (ver Anexo A). El precio por cada inyección de este producto oscila entre los \$ 14'000.000 de pesos, y es enviada una sola jeringa por embalaje, sin importar el desperdicio de volumen.

Cada referencia utiliza diferentes cantidades de geles refrigerantes, para la CT34 se usan 8 geles, sin embargo, observando el comportamiento térmico de los envíos cotidianos de cadena de frío que garantizan 48 horas de duración de la temperatura entre 2° y 8 °C, se pensó en aumentar la cantidad de geles refrigerantes para acrecentar la duración en la cadena de frío teniendo en cuenta la alta capacidad aislantes de los materiales a probar. Debido a esto, se investigaron diferentes embalajes hechos alrededor del mundo, encontrándose que se usan en promedio 10 geles refrigerantes para las neveras con dimensiones similares a la CT34, por lo que se decidió, para realizar esta investigación, aumentar a este número la cantidad de geles en comparación con los 8 que actualmente se utilizan.

Las tres pruebas realizadas, se hicieron al mismo tiempo para cada material, garantizando que la temperatura ambiente fuera lo más homogénea posible para los dos materiales, con el fin de obtener una mejor comparación entre ellos.

Al momento de empezar cada prueba se siguieron los mismos pasos para hacer los embalajes en la forma estandarizada que dicta el protocolo PCCF-001-02: primero se abre la nevera, luego se le colocan los geles de refrigeración, los cuales deben haber estado como mínimo 36 horas en un congelador a una temperatura entre -15 °C a -20 °C, después de esto se deben pasar a un refrigerador en donde la temperatura se encuentra entre 0 a 2 °C 20 minutos antes de hacer el embalaje para que los geles se atemperen, así al momento de colocarlos en la nevera deben estar

en una temperatura promedio de 0 a 2 °C, esta temperatura se confirma antes de introducir los geles en la nevera mediante un sensor de temperatura marca MiniTemp, este es un lector laser en forma de pistola, con un margen de error de 0,2 °C. Al tener la temperatura confirmada se ubican los geles en las posiciones descritas en la tabla 5, colocando los 2 geles de más en la parte superior antes de sellar herméticamente la nevera. Se empieza en la parte inferior, luego se coloca el separador térmico, que es una caja interna de cartón dentro de la cual van los productos para protegerlos del contacto directo con los geles refrigerantes, con su uso se pretende aislar térmicamente los productos evitando que lleguen a temperaturas inferiores a los 2 °C, estas cajas aislantes tienen dimensiones específicas dependiendo de cada modelo de nevera de transporte (Tabla 6).

Tabla 6. Dimensiones de los separadores térmicos usados actualmente en sanofi-aventis.

NEVERA USADA	DIMENSIONES INTERNAS DEL SEPARADOR TERMICO		
	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
CT20,5	13,5	13,5	14,5
CT34	27,5	27,5	28,5
CT38,5	31,5	31,5	33,5
CT-TETANOL	54,5	39,5	27

Se llenan los separadores térmicos con la carga máxima de productos que se tenían para destrucción con el fin de hacer este experimento como cualquier envío normal, junto con un sensor de temperatura. Esta caja es sellada con cinta adhesiva y se procede a colocar los geles restantes, seguido se sella herméticamente la nevera y se le coloca dentro de una caja de cartón con el fin de aumentar la resistencia térmica del sistema y se sitúa el segundo sensor de temperatura sobre la

caja de cartón pegado con cinta. Al tener el embalaje terminado, se mandaron a los lugares de prueba en donde se dejaron durante un mínimo de 65 horas. La primera prueba se realizó en Bogotá, en las instalaciones del operador logístico de sanofi-aventis Open Marketⁱ, en los lugares más altos de las bodegas, donde la temperatura ambiente alcanza un promedio de 20-24 °C, en la segunda se enviaron las dos neveras hacia Bucaramanga, donde la temperatura ambiente tiene un promedio de 24-26 °C y para la tercera prueba se despacharon las neveras a Barranquilla, para someterlas a condiciones extremas, donde la temperatura ambiente alcanza un promedio de 30-35 °C.

Las pruebas tuvieron una duración promedio de 70 horas, excepto en la tercera debido a que la distribución de medicamentos desde Bogotá al resto del país se hace por vía terrestre por lo que los envíos a Barranquilla demoran aproximadamente 92 horas. Al finalizar cada ensayo se recogieron las neveras y se leyeron los sensores, se descargaba la información mediante un software especial para cada marca de sensor, y se graficaron los datos temperatura vs tiempo para observar el comportamiento térmico durante el transcurso de la prueba.

ⁱ Ubicadas en la zona industrial de Montevideo en Santa fe de Bogotá D.C

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS

Las especificaciones técnicas de los materiales usados se listan en la tabla 7ⁱ.

Tabla 7. Propiedades técnicas de los materiales seleccionados.

MATERIAL	SIGLA DEL MATERIAL	GROSOR USADO DEL MATERIAL EN LAS NEVERAS [cm]	GROSOR USADO DEL MATERIAL EN EL SEPARADOR TERMICO [cm]	DENSIDAD [Kg/m ³]	CONDUCTIVIDAD TERMICA PROMEDIO [W/mK]	RESISTENCIA TÉRMICA [m ² K/W]
Espuma Poliestireno Extrusado	XPS	4	-	32	0,028	1,43
Espuma de Poliuretano	FPU	4	-	60	0,023	1,74
Poliestireno Expandido	EPS	5	-	20	0,04	1,25
Cartón	Corrugado	0,4	0,6	0,02	0,19	0,021

3.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Los datos generales de las pruebas se listan en la tabla 8.

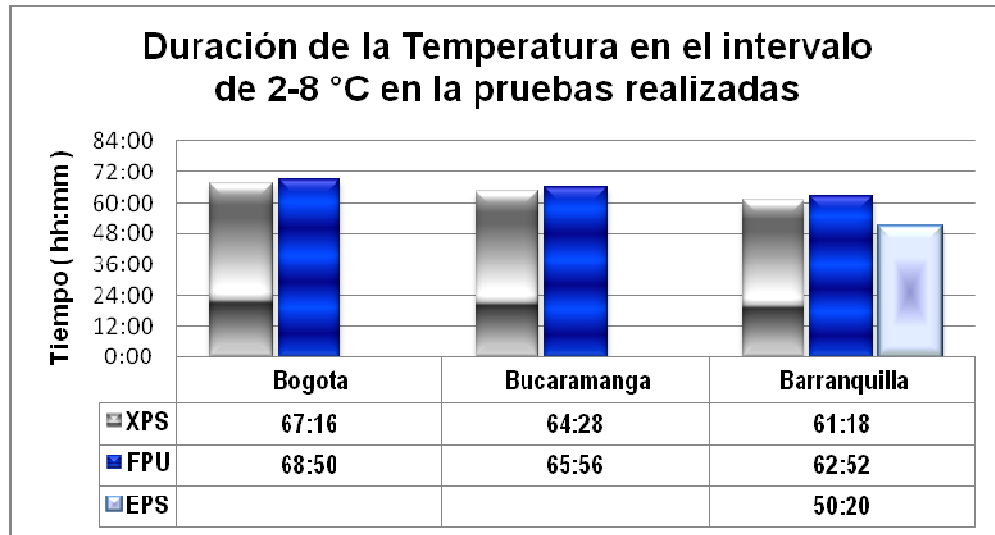
Tabla 8. Datos generales de las pruebas realizadas.

Proveedor / Material	Prueba	Realizada en	T. Ext. Promedio (°C)	Duración Total de las Pruebas (hh:mm)
Frioresh / XPS	1	BOGOTÁ/Bodega Open Market	21	72:14
	2	ENVIO Bucaramanga	26	75:12
	3	ENVIO Barranquilla	33	92:32
Biothermics / FPU	1	BOGOTÁ/Bodega Open Market	21	72:14
	2	ENVIO Bucaramanga	26	75:12
	3	ENVIO Barranquilla	33	92:31
Material Actual EPS	-	BARRANQUILLA	31	93:04

ⁱ Datos suministrados por los proveedores de los materiales.

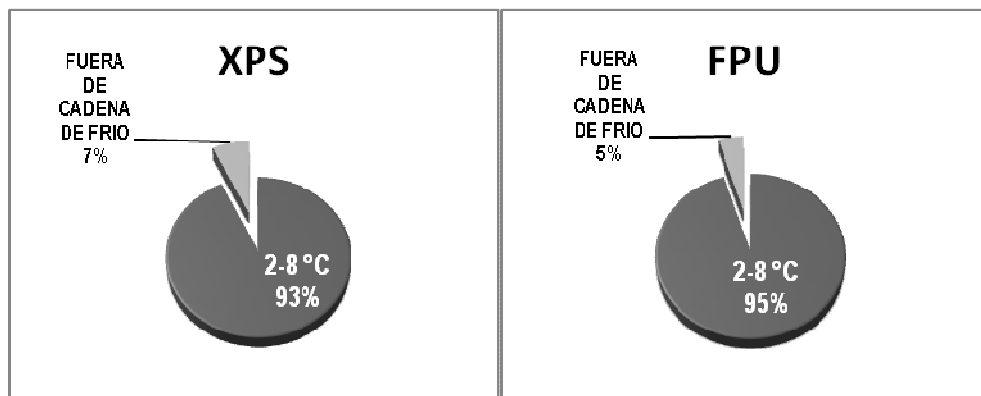
Al concluir los experimentos con los materiales se obtuvieron los tiempos de cadena de frío mostrados en la figura 4.

Figura 4. Duración de la cadena de frío en las pruebas realizadas.



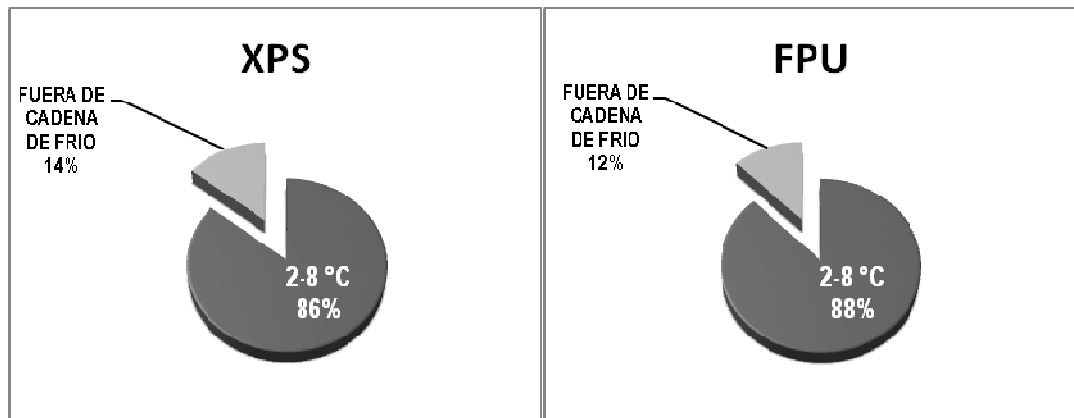
En el primer ensayo realizado en Bogotá, se analizó el buen rendimiento aislante de los dos materiales, un 95 % por parte del FPU en comparación al 93% mostrado por el XPS sobre el tiempo total de la prueba, observándose una mayor duración en el intervalo de refrigeración en la nevera de espuma de poliuretano; bajo la misma temperatura promedio 21 °C, el FPU se mantuvo un 2% más en el intervalo de temperatura de 2-8 °C, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Comparación de los tiempos de cadena de frío en la primera prueba.



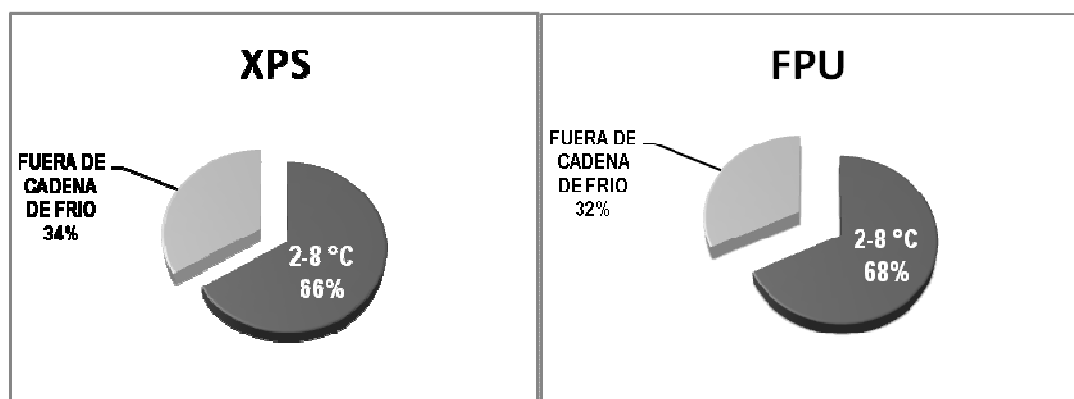
En el envío realizado a Bucaramanga, el porcentaje de rendimiento para los dos materiales en el tiempo de duración del intervalo de refrigeración disminuyó un 7% bajo una temperatura ambiente promedio de 26 °C, manteniéndose un 2% más la cadena de frío el FPU en comparación con el XPS figura 6.

Figura 6. Comparación de los tiempos de cadena de frío en la segunda prueba.



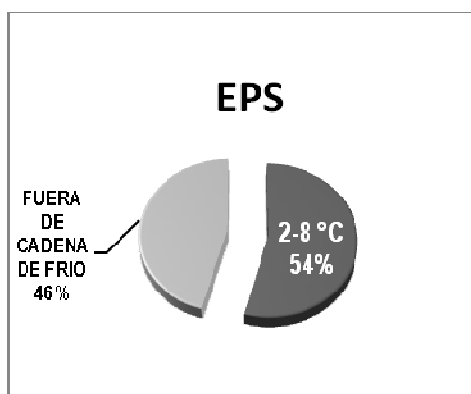
En la tercera prueba, en la cual fueron transportados los materiales a Barranquilla, para probarlos en temperaturas extremas, el rendimiento aislante disminuyó un 27% sobre el tiempo total de la prueba a una temperatura ambiente promedio de 33 °C con respecto a la primera prueba realizada en Bogotá, manteniéndose la diferencia entre los dos materiales un 2% en el tiempo de duración de la cadena de frío, figura 7.

Figura 7. Comparación de los tiempos de cadena de frío en la tercera prueba.



En la prueba hecha al icopor con el que actualmente se trabaja, enviada a Barranquilla en la cual se utilizaron dos geles mas en el embalaje, se obtuvo un rendimiento aislante por parte del EPS del 54% (de tiempo en el rango de refrigeración) sobre el tiempo total de la prueba, a una temperatura ambiente promedio de 32 °C, teniendo en cuenta que se usó el mismo embalaje que en los demás experimentos, este tiempo de duración en la cadena de frio es un 14% inferior a la espuma de poliuretano y un 12% al poliestireno expandido, figura 8.

Figura 8. Rendimiento aislante del icopor en Barranquilla.



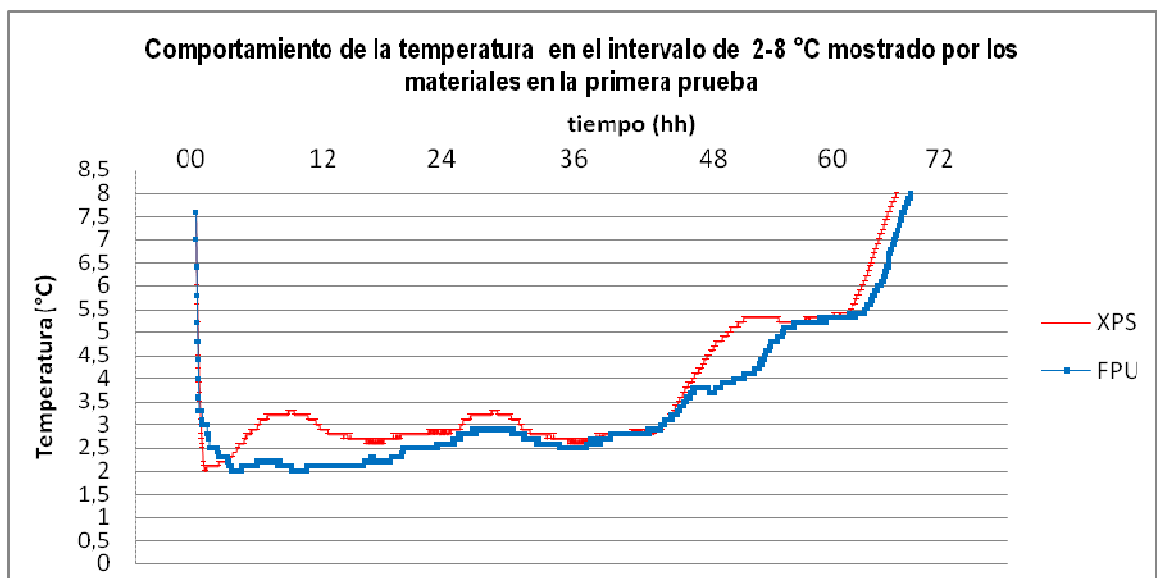
En la tabla 9 se muestran los rendimientos aislantes con base en los tiempos de duración de la cadena de frio en comparación con el material utilizado actualmente.

Tabla 9. Comparación de duración de la cadena de frio en los materiales aislantes.

PRUEBA REALIZADA	% MAYOR DE DURACION DE LA CADENA DE FRIO RESPECTO AL EPS (material actual)	
	XPS	FPU
Bogotá	27 %	29 %
Bucaramanga	22 %	24 %
Barranquilla	12 %	14 %

La tabla 9 demuestra claramente las propiedades térmicas de cada material, cuanto menor es el coeficiente de conductividad térmica, mayor es su rendimiento aislante, teniendo en cuenta el grosor del material para que la resistencia térmica sea mayor, por esta razón los materiales probados conservan más tiempo la carga fría haciendo más lento el intercambio de energía térmica desde el ambiente externo al interior de la nevera en donde se encuentran los geles refrigerantes. Como se observa con la espuma de poliuretano, que tiene la conductividad térmica promedio más baja, y la resistencia térmica más alta de los tres materiales, demostrando mayores tiempos de duración en la conservación de la cadena de frío. A su vez el XPS demuestra mejores rendimientos en aislación térmica respecto al EPS. Hay que notar que la nevera elaborada con EPS tiene 1 cm más de espesor por todas las caras respecto a las fabricadas con los materiales alternativos, y aun así tiene la resistencia térmica más baja de los tres. Analizando las graficas mostradas en los anexos B, C ,D, E, y tomando solo el intervalo de temperatura de 2 a 8 °C figura 9, 10, 11 , se puede observar en el comportamiento térmico dentro de cada nevera, cómo aumenta más rápidamente la temperatura cuanto menor es la resistencia térmica del material .

Figura 9. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la primera prueba.



En la figura 9 se puede ver que la temperatura dentro de la nevera del XPS aumenta ligeramente más rápido que en la nevera del FPU, ya que la temperatura ambiente promedio fue de 20 °C durante el tiempo que duro este intervalo de temperatura; sin embargo a medida que aumenta la temperatura externa se puede observar que al pasar el tiempo la temperatura tiende a aumentar más rápido en el XPS que en el FPU, debido a su resistencia térmica más baja y a su mayor coeficiente de conductividad térmica, figura 10 y figura 11.

Figura 10. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la segunda prueba.

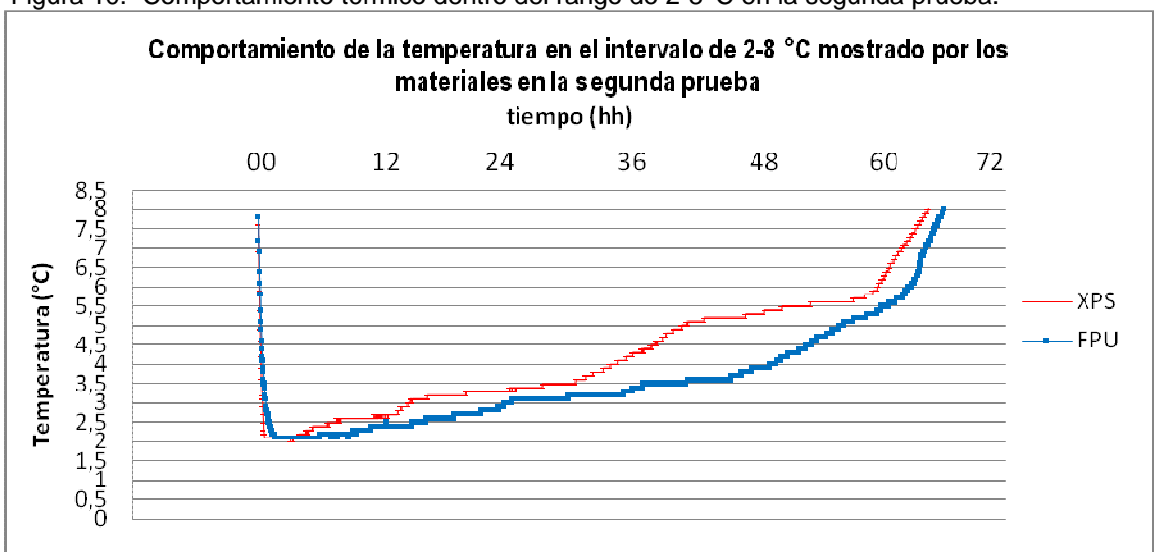
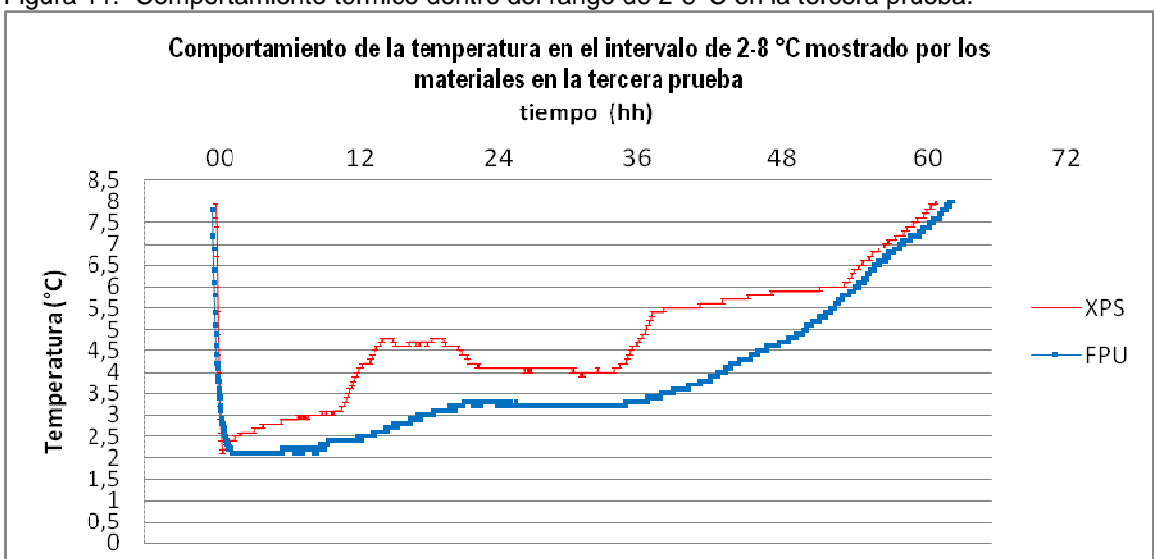


Figura 11. Comportamiento térmico dentro del rango de 2-8 °C en la tercera prueba.



El comportamiento de la temperatura mostrado en las pruebas, confirma las capacidades aislantes de cada material debido a sus propiedades térmicas, y con base en los resultados expuestos, analizando los porcentajes de tiempo en la cadena de frío con relación a los tiempos totales de cada prueba, se puede afirmar que la espuma de poliuretano (FPU) demuestra mejores comportamientos aislantes, incluso en altas temperaturas, al ofrecer mayor resistencia al flujo de la energía térmica, conserva por más tiempo la carga fría de los geles refrigerantes en comparación con el poliestireno expandido (EPS) y con el poliestireno extrusado (XPS).

3.3 ANALISIS ECONOMICO

En la tabla 10 se listan los precios ofrecidos por los proveedores para las neveras que manejan productos bajo cadena de frío fabricadas con los materiales probados.

Tabla 10. Precios por nevera ofrecidos por los proveedores

PROVEEDOR	MATERIAL	DIMENSIONES INTERNAS DE LA NEVERA (cm)	VALOR DE LA NEVERA POR UNIDAD (PESOS COLOMBIANOS)	PORCENTAJE DE DIFERENCIA EN PRECIOS RESPECTO AL MATERIAL ACTUAL
Biothermics de Colombia	ICOPOR (ACTUAL)	34,5 - 34,5 - 35,5	\$ 28.440,00	-
Biothermics de Colombia	FPU	34,5 - 34,5 - 35,5	\$ 37.800,00	25%
Friofresh S.A.	XPS	34,5 - 34,5 - 35,5	\$ 40.560,00	30%

Como se observa en la tabla 10, el FPU es más económico que el XPS, lo cual es muy favorable ya que la espuma de poliuretano ofrece los mejores rendimientos aislantes de los tres materiales. Sin embargo, su precio es un 25 % mayor que el material actual; esto representa un aumento en los costos de \$ 9360 pesos por cada nevera distribuida. Dado que el objetivo de esta investigación es evitar el cambio de geles refrigerantes en las neveras manejadas bajo cadena de frío distribuidas a poblaciones alejadas de la capital del país; y teniendo en cuenta que estos geles son usados solo 1 vez cada envío y son 8 por cada nevera con el actual embalaje, siendo que el precio

unitario de cada gel es de \$ 2600 pesos, se hace en la tabla 10 un balance económico de los gastos generados por estos cambios.

Tabla 11. Gastos generados por el cambio de geles y el cambio de material de las neveras.ⁱ

Envíos realizados en 2009	Promedio de neveras enviadas a todo el país	Promedio de neveras enviadas sometidas a cambio de geles	total gastos en cambio de geles	total gastos en cambio de nevera de EPS a FPU
1er trimestre	1080	261	\$ 5.428.800,00	\$ 10.108.800,00
2do trimestre	1441	393	\$ 8.174.400,00	\$ 13.487.760,00
3er trimestre	3495	475	\$ 9.880.000,00	\$ 32.713.200,00
4to trimestre	2071	281	\$ 5.844.800,00	\$ 19.384.560,00
TOTAL	8087	1410	\$ 29.328.000,00	\$ 75.694.320,00

En la tabla 11 se observa que se gastan \$ 29.328.000 pesos por año en cambios de geles, también se muestra el sobrecosto de \$ 75.694.320 pesos que implicaría cambiar el material actual (icopor) por la espuma de poliuretano FPU. Teniendo presente que al utilizar el FPU se evitan los cambios de geles en cualquier envío, el sobrecosto total que tiene al usar este material sería \$ 46.366.320 pesos por año.

Son múltiples los beneficios recibidos por sanofi-aventis al usar la espuma de poliuretano para distribuir medicamentos termosensibles, al no hacer cambio de geles a ninguna nevera se evita el romper abruptamente la cadena de frío ya que estas neveras son selladas herméticamente, al abrirlas y someter estos productos tan sensibles a cambios bruscos de temperatura, tienen un 90% de probabilidades de perder su eficacia [2], esto es algo que se debe evitar puesto que una de las principales funciones de la industria farmacéutica es brindar la mayor seguridad posible en sus medicamentos a sus clientes, personas que esperan estos productos con la intención de mejorar su calidad de vida. Por esta razón esta inversión evitaría pérdidas económicas generadas por el mal manejo que se le dan a las neveras que se someten a cambios de geles, teniendo en cuenta

ⁱ Datos suministrados por el área de Distribución y servicio al cliente de sanofi-aventis de Colombia S.A.

que los medicamentos transportados bajo cadena de frío son costosos, en el año 2009 el monto total de los medicamentos vendidos que fueron sometidos a cambio de geles fue \$ 499.310.890 pesos.

Otro de los beneficios que brinda el uso de este material, es la menor contaminación por desechos sólidos en el ambiente en comparación con los generados por el icopor, ya que las neveras por seguridad hacia los medicamentos son usadas 1 vez cada envío y luego desechadas, estos residuos sólidos no son tratados de manera alguna, en la mayoría de los casos son enviados a los vertederos de basura sin saber que este material demora aproximadamente 1000 años en biodegradarse, sin tener grandes alternativas de disposición final puesto que este es un material económico, es menos costoso fabricarlo nuevamente que reciclarlo para reutilización; a diferencia de la espuma de poliuretano que debido a su creciente uso y a sus diversas aplicaciones son varios los métodos de disposición final [14], el proveedor de estas neveras Biothermics de Colombia para fabricarlas utiliza un 40% de material reciclado; esto representa un cambio aunque no muy significativo, de valiosa ayuda a nuestro entorno.

CONCLUSIONES

- De los materiales estudiados con los que se trabaja actualmente en cadena de frío en otras partes del mundo, se escogieron para este estudio la espuma de poliuretano (FPU) y el poliestireno expandido (XPS), los cuales tienen coeficientes de conductividad térmica muy bajos que los hace materiales aislantes de alto rendimiento y, debido a sus propiedades físicas son idóneos para el transporte de medicamentos, vacunas o alimentos.
- Al realizar las pruebas a los materiales seleccionados en igualdad de condiciones para cada uno (la misma temperatura externa promedio para los dos), se observó un mejor comportamiento aislante por parte de la espuma de poliuretano bajo diferentes temperaturas ambientales, con un rendimiento superior promedio de un 2% con respecto al XPS y de un 23 % con respecto al icopor en el tiempo de duración de la cadena de frío.
- La espuma de poliuretano es un 7% más económica que el poliestireno extrusado, lo cual resulta ventajoso teniendo en cuenta sus altos rendimientos aislantes, sin embargo este material es un 25% más costoso que el icopor con el que actualmente se trabaja. Aun así, este aumento en los precios sería razonable teniendo en cuenta que esto garantiza una mayor seguridad en el transporte y la distribución de medicamentos termosensibles evitando el cambio de geles en la distribución de estos medicamentos, y genera menor contaminación al ambiente por el desecho de residuos sólidos, ya que el proveedor de estas neveras utiliza un 40 % de material reciclado para su fabricación.

RECOMENDACION

- Esta investigación llego hasta las pruebas de los materiales más eficientes para el transporte de productos bajo cadena de frio, se recomienda el análisis de las pruebas mostradas en el presente trabajo para la aprobación y validación de estas neveras por parte de sanofi-aventis de Colombia S.A.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GENNARO Alfonso R., (1995) Remington Farmacia, 19ª Edición, vol. I. Pág. 94-103.
- [2] CARSTENSEN Jens T., (1995) Drug Stability. Principles and Practices, 2nd Edition. Pág.156-163.
- [3] BERRY Ira R., NASH Robert A., (1993) Pharmaceutical Process Validation, 2nd Edition. Pág. 189-225.
- [4] INCROPERA Frank P., DEWITT David P., (1999) Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ª Edición, Prentice Hall. Pág. 2-43; 482-492.
- [5] PERRY Robert H., GREEN Don W., MALONEY James O., (2001) Manual del Ingeniero Químico, 6^{ta} Edición. Tomo III sección 13.
- [6] SIEGEL R., HOWELL Jhon R., (1992) Thermal Radiation Heat Transfer, 3th Edition, Hemisphere Publishing New York. Pág.90-120.
- [7] AISLANTES TÉRMICOS, consultado el 23 de agosto de 2009 de la World Wide Web:
[http:// es.wikipedia.org/wiki/Aislante_térmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante_térmico).
- [8] BIRD Robert B., Fenómenos de Transporte, 2ª. Edición. Pág. 309-334.
- [9] ASHBY Michael F., JONES David R., (2009) Materiales para Ingeniería, Introducción a la microestructura, el procesamiento y el diseño. Vol.II, 2ª Edición. Pág. 331-340.

[10] SEYMUR Raimond B., CARRAHER Charles E., (2002) Introducción a la Química de los Polímeros, 3ª Edición, Editorial Reverté. Pág. 21-57.

[11] EXTRUDED POLYSTYRENE, consultado el 20 de Octubre de 2009 de la World Wide Web.
http://www.Aplax.com/Plaxfoam/Extruded_Polystyrene.html

[12] TEXTOS TÉCNICOS, (2009) Tecnología del Poliuretano
<http://www.QuimiNet.com/Técnicos/Poliuretano.html>

[13] PROTOCOLO DE MONTREAL, (2009) PNUMA (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente).
<http://www.unep.org/ozone>

[14] RECICLAJE DE ESPUMAS DE POLIMEROS, (2009) Reciclajes Técnicos
http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje_asientos.pdf

[15] AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, consultado el 28 de Octubre de 2009 de la World Wide Web.
http://www.americanchemistry.com/s_plastics/sec_pfpq.asp

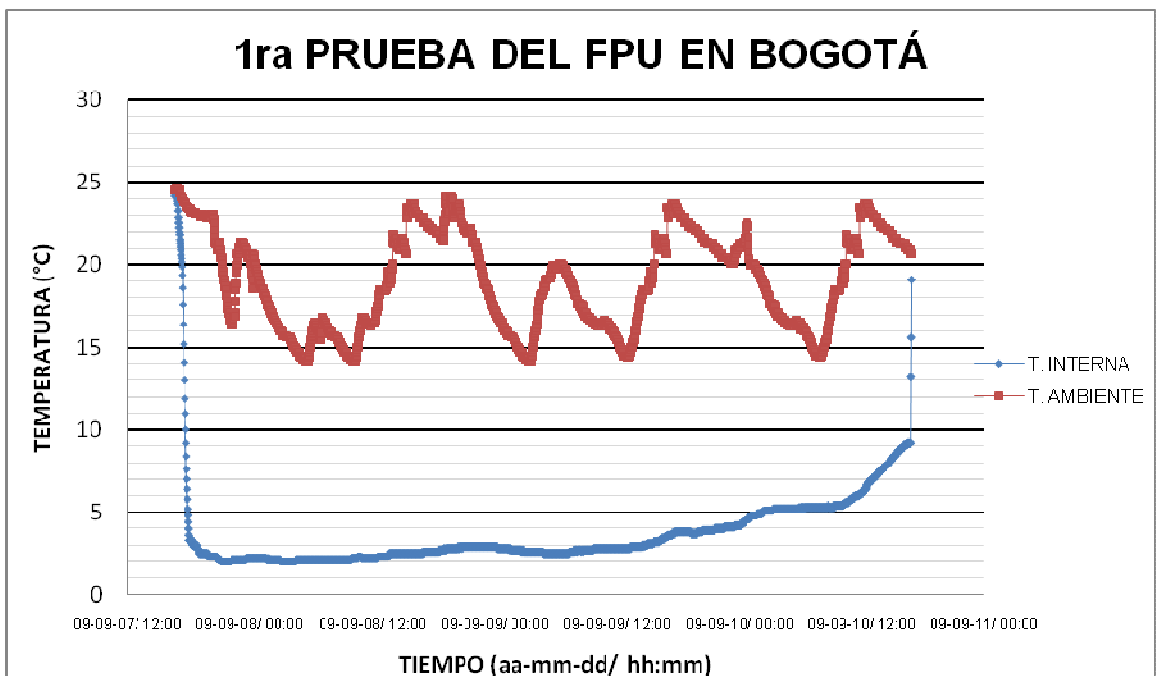
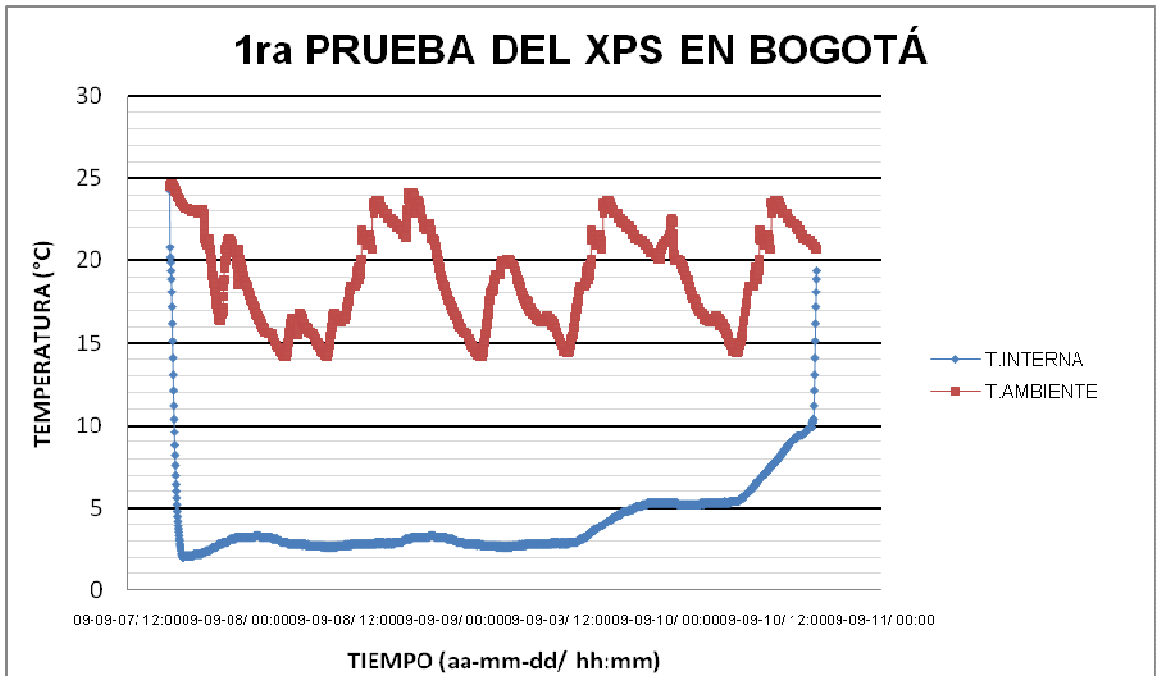
[16] PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO DE OPERACIÓN ESTANDAR (2008) Cód. PCCF-001-002, Protocolo de calificación, embalaje, transporte y distribución para productos manejados bajo cadena de frío. Documento confidencial propiedad exclusiva de sanofi-aventis de Colombia S.A.

[17] GOMEZ., Claudia Viviana. Proyecto de grado "Aseguramiento de la calidad de los productos biológicos que se manejan bajo cadena de frío en refrigeración". Universidad Nacional de Colombia. Santa fe de Bogotá. 2006.

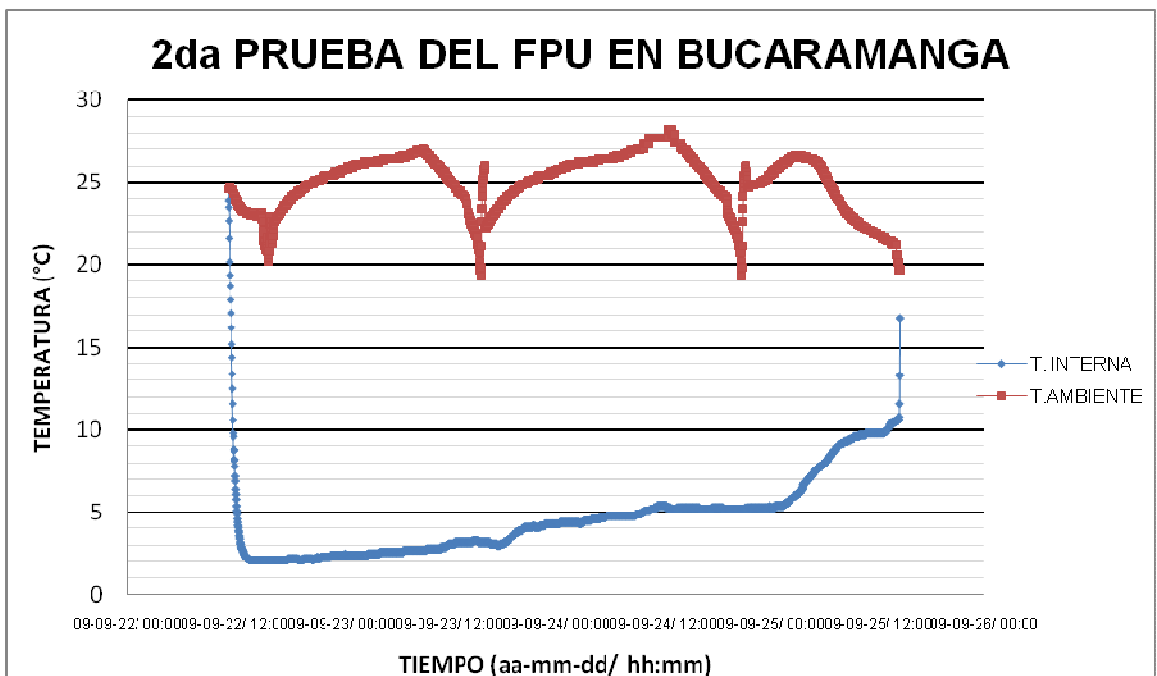
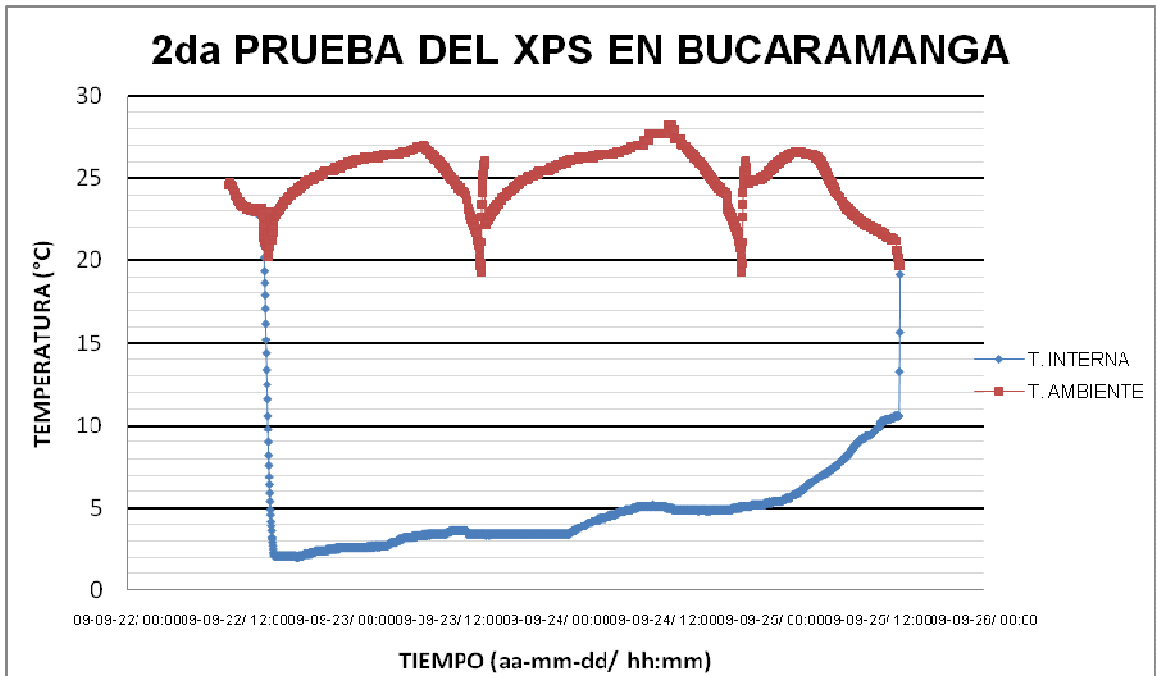
**ANEXO A. PRODUCTOS DE CADENA DE FRIO DISTRIBUIDOS POR SANOFI-AVENTIS DE
COLOMBIA S.A.**

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE MOLECULA	FUNCIÓN
SOMATULINE 60mg	Lanreótide	Tratamiento de la acromegalia.
SOMATULINE 90mg	Lanreótide	Tratamiento de la acromegalia.
SOMATULINE 120mg	Lanreótide	Tratamiento de la acromegalia.
INSUMAN N 100UI/ML	Insulina Humana Recombinante	Tratamiento de la diabetes.
INSUMAN R 100UI/ML	Insulina Humana Recombinante	Tratamiento de la diabetes.
LANTUS 100UI/ML	Insulina Glargina	Agente Antidiabético
LANTUS SOLOSTAR 100	Insulina Glargina	Agente Antidiabético
TAXOTERE 20mg	Docetaxel	Antineoplásico (Agente anti cancerígeno)
TAXOTERE 80mg	Docetaxel	Antineoplásico (Agente anti cancerígeno)
APIDRA	Insulina Glulisina	Agente Antidiabético
APIDRA SOLOSTAR	Insulina Glulisina	Agente Antidiabético

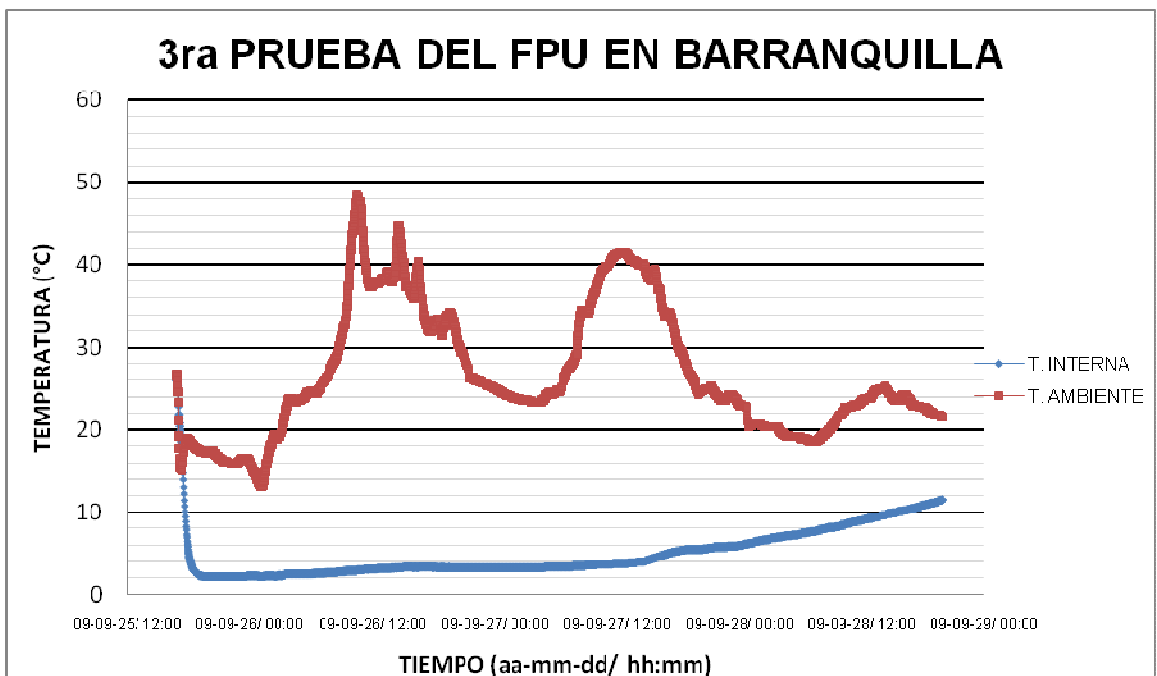
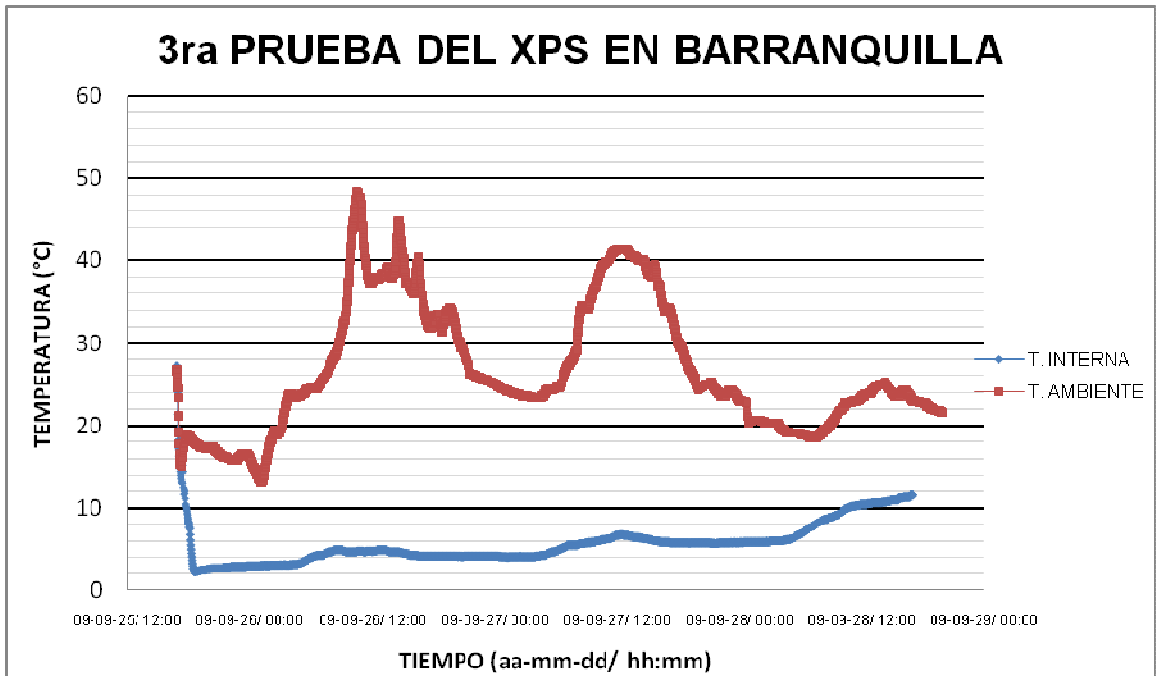
ANEXO B. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA PRIMERA PRUEBA



ANEXO C. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA SEGUNDA PRUEBA



ANEXO D. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA TERCERA PRUEBA



ANEXO E. GRAFICA TEMPERATURA VS TIEMPO PARA EL EPS EN BARRANQUILLA

