



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL
POLIURETANO UTILIZADO COMO AISLANTE TÉRMICO,
EN LA EMPRESA ESPROM-PUR AMBATO**

HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Ing. Mario Gustavo Villacrés Álvarez

DIRECTOR DE TESIS

RIOBAMBA - ECUADOR

2014

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL POLIURETANO UTILIZADO COMO AISLANTE TÉRMICO, EN LA EMPRESA ESPROM-PUR AMBATO", de responsabilidad del señor Héctor Mauricio Proaño Quezada, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. César Ávalos I. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Mario Villacrés. DIRECTOR DE TESIS
Ing. Marco Chuiza MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Eduardo Tenelanda. COORDINADOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN
Nota de Tesis Escrita	

Riobamba, 05 de Noviembre de 2014

Yo, Mauricio Proaño, soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO** y **EMPRESA ESPROM-PUR AMBATO**.

Dedico la presente tesis a mi abuelo Héctor A. Proaño, quien a pesar de las adversidades que le presentó la vida supo sacar adelante a toda su familia, siendo el mí ejemplo de humildad, honestidad y sacrificio.

A mis queridos padres: Juan y Miriam, quienes con esfuerzo y paciencia han sabido guiarme y corregirme en esta dura carrera que es la vida.

A mí querida abuelita Lolita Moya, quien siempre me apoyo para salir adelante y ser un hombre de bien

Del mismo modo, dedico ésta investigación a todas las personas, quienes me han ayudado y apoyado de alguna u otra manera.

La presente investigación representa el trabajo de años de estudio y dedicación que me permitirán llegar a ser un buen profesional, expreso mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que directa o indirectamente me han apoyado en este objetivo

En primer lugar agradezco a Dios por el regalo de la vida siendo esta la oportunidad para formarme como una buena persona, agradezco a mi querido abuelito Héctor que en paz descanse, a mis amados padres por el apoyo incondicional y el ejemplo de personas responsables que me han inculcado, un agradecimiento muy especial para el Ing. Mario Villacres y el Ing. Marco Chuiza por compartir sus conocimientos y ser mis mentores en esta tesis.

De la misma manera agradezco a la empresa ESPROM PUR CIA. LTDA. por la colaboración prestada y la apertura de sus instalaciones para realizar la presente investigación

Una eterna gratitud para la ESPOCH, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, por permitirme formar parte de su prestigioso grupo de estudiantes quienes cada día ganan más renombre en el campo profesional.

Adicionalmente quiero mencionar a los Ingenieros Edgar Rivera y Carlos Rivadeneira por su colaboración en el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

Se realizó la determinación de la eficiencia térmica del poliuretano utilizado como aislante térmico en la empresa ESPROM PUR CIA. LTDA. Situada en la ciudad de Ambato.

Para el desarrollo de la investigación, se comenzó construyendo cuatro calorímetros a escala de laboratorio, aislados con los materiales más frecuentes del mercado frigorífico los cuáles son poliestireno expandido, lana de vidrio y poliuretano, el cuarto calorímetro no contó con aislante con el objeto de comparar los datos finales; además se construyó un comprobador digital con un sensor de temperatura LM-35 y un sensor de temperatura PT-100. Se procedió a realizar los procedimientos correspondientes tomando como fluido referencial el agua en conocimiento de su punto de ebullición, finalmente se recolectó y tabuló los datos reflejados por el comprobador digital de los calorímetros. Para determinar la eficiencia se realizó los cálculos pertinentes los cuales reflejaron que el poliuretano es el mejor aislante térmico resultando un 65,76% de eficiencia, siendo este el mejor porcentaje comparado con los otros aislantes, además de acuerdo a la Ley de Fourier se ha podido determinar que el poliuretano es el aislante que menor calor ha dejado pasar durante las pruebas en los calorímetros siendo 17,30 W/m el calor transmitido durante la medición.

De acuerdo a los resultados se recomienda utilizar espuma de poliuretano proyectado para aislar vehículos automotores refrigerados y de transporte público, los cuales deben contar con aislamiento térmico que sea retardante a la llama según el reglamento RTE INEN 043:2010

SUMMARY

Determining the thermal efficiency of the polyurethane used as thermal insulation in the company ESPROM PUR CIA was performed. LTDA. Located in the city of Ambato.

For the development of research, began building four calorimeters laboratory scale, with the most frequent isolated refrigerator market materials which are expanded polystyrene, glass wool and polyurethane, the room calorimeter did not have insulation in order to compare final data; a digital tester also constructed with a temperature sensor LM-35 and a temperature sensor PT-100. We proceeded to perform the procedures taking as reference fluid water known to its boiling point, it was finally collected and tabulated the data shown by the digital tester calorimeters. To determine the efficiency of the relevant calculations which reflected that the polyurethane is the best thermal insulator resulting in a 65.76% efficiency, which is the highest percentage compared to other insulation, also according to Fourier's Law has held been able to determine that the polyurethane is the lower heat insulator has missed during testing in the calorimeters be 17.30 W / m heat transmitted during the measurement.

According to the results we recommend using sprayed polyurethane foam to insulate refrigerated motor vehicles and public transport, which must have insulation that is flame retardant according to regulation 043 RTE INEN: 2010

CONTENIDO

Pág.

PORTADA	
HOJA DE ACEPTACIÓN	
HOJA DE REPOSABILIDAD	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
SUMMARY	
CONTENIDO	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS	
LISTA DE CUADROS	
LISTA DE REACCIONES	
LISTA DE ANEXOS	
LISTA DE ABREVIATURAS	
INTRODUCCIÓN	20
ANTECEDENTES	21
JUSTIFICACIÓN	23
OBJETIVOS	24
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 Transferencia de calor	25
1.1.1 <i>Transferencia por conducción</i>	26
1.1.2 <i>Transferencia por convección</i>	26
1.1.3 <i>Transferencia por radiación.</i>	26

1.2 Calorimetría	27
1.2.1 <i>Calorímetro.</i>	27
1.3 Características de un aislante térmico	28
1.4 Definiciones térmicas	29
1.4.1 <i>Beneficios potenciales de utilizar aislantes térmicos para la población.</i>	30
1.4.2 <i>En lo económico.</i>	30
1.5 Rendimiento térmico	30
1.6 Poliuretano	30
1.6.1 <i>Origen y obtención</i>	31
1.6.2 <i>Aislamiento térmico</i>	35
1.6.2.1 <i>Valor de conductividad térmico robusto</i>	35
1.6.2.1.1 <i>Presencia de humedad</i>	35
1.6.2.1.2 <i>Suciedad.</i>	36
1.6.2.1.3 <i>Falta de estanqueidad al aire</i>	36
1.6.2.1.4 <i>Presencia de huecos en el aislamiento</i>	37
1.6.2.1.5 <i>Deterioro del aislamiento</i>	38
1.6.2.1.6 <i>Integridad física</i>	38
1.6.3 <i>Resistencia térmica</i>	39
1.6.4 <i>Aislamiento Acústico continuo estanco</i>	40
1.6.5 <i>Impermeabilidad de fachadas.</i>	41
1.6.6 <i>Control de humedad</i>	42
1.6.7 <i>Seguridad frente al fuego</i>	42
1.6.8 <i>Salubridad.</i>	43
1.6.9 <i>Sostenibilidad</i>	44
1.6.10 <i>Reciclado.</i>	45
1.6.11 <i>Adherencia</i>	45

1.6.12 <i>Estabilidad química.</i>	47
1.6.13 <i>Las aplicaciones del poliuretano asociado a la cadena alimentaria.</i>	47
1.6.14 <i>Ventajas en la fabricación.</i>	48
1.6.15 <i>Ventajas en la instalación.</i>	48
1.6.16 <i>Ventajas en la utilización.</i>	48
1.6.17 <i>Eficiencia energética</i>	48
1.7 <i>Poliestireno expandido (espumaflex)</i>	49
1.7.1 <i>Proceso de fabricación</i>	49
1.7.1.1 <i>Pre expansión.</i>	50
1.7.1.2 <i>Reposo intermedio y estabilización.</i>	51
1.7.1.3 <i>Expansión y moldeo final</i>	52
1.7.2 <i>Propiedades físicas</i>	52
1.7.2.1 <i>Resistencia y conductividad térmica.</i>	52
1.7.2.2 <i>Tolerancias Dimensionales</i>	54
1.7.2.3 <i>Estabilidad Dimensional.</i>	54
1.7.2.4 <i>Deformación bajo condiciones específicas de carga a compresión y temperatura.</i>	55
1.7.2.5 <i>Resistencia a la Flexión</i>	56
1.7.2.6 <i>Clasificación de reacción al fuego</i>	57
1.7.3 <i>Propiedades químicas.</i>	58
1.7.4 <i>Propiedades biológicas</i>	58
1.7.5 <i>Aplicaciones relacionadas con la eficiencia energética</i>	59
1.8 <i>Lanas minerales</i>	59
1.8.1 <i>Aislamiento térmico</i>	61
1.8.2 <i>Aislamiento acústico</i>	61
1.8.3 <i>Protección contra el fuego.</i>	62

1.8.4 <i>Propiedades ambientales</i>	62
1.8.5 <i>Calidad</i>	63
1.9 Aislamientos y revestimiento interior	64
CAPÍTULO II	
2. PARTE EXPERIMENTAL	65
2.1 Muestreo	65
2.1.2 <i>Localización</i>	65
2.1.3 <i>Recopilación de la información.</i>	65
2.2 Metodología	65
2.2.1 <i>Métodos y técnicas</i>	65
2.2.1.1 <i>Métodos.</i>	65
2.2.1.2 <i>Técnicas.</i>	66
2.2.1.3 <i>Pruebas en el simulador (calorímetro)</i>	67
2.2.1.3.1 <i>Procedimientos</i>	67
CAPITULO III	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
3.1 Resultados	71
3.1.1 <i>Coeficiente de enfriamiento (e)</i>	71
3.1.1.1 <i>Calorímetro sin aislante</i>	71
3.1.1.2 <i>Calorímetro con lana de vidrio</i>	74
3.1.1.3 <i>Calorímetro con poliuretano</i>	76
3.1.1.4 <i>Calorímetro con poliestireno</i>	79
3.1.2 <i>Determinación de la temperatura real (Tf*)</i>	82
3.1.2.1 <i>Calorímetro sin aislante</i>	82

3.1.2.2 <i>Calorímetro con lana de vidrio</i>	84
3.1.2.3 <i>Calorímetro con poliuretano</i>	85
3.1.2.4 <i>Calorímetro con poliestireno</i>	87
3.1.3 <i>Determinación de la eficiencia térmica</i>	88
3.1.3.1 <i>Calorímetro sin aislante</i>	88
3.1.3.2 <i>Calorímetro con lana de vidrio</i>	88
3.1.3.3 <i>Calorímetro con poliuretano</i>	88
3.1.3.4 <i>Calorímetro con poliestireno</i>	88
3.1.4 <i>Determinación de la transferencia de calor por conducción</i>	88
3.1.4.1 <i>Calorímetro sin aislante</i>	88
3.1.4.2 <i>Calorímetro con lana de vidrio</i>	88
3.1.4.3 <i>Calorímetro con poliuretano</i>	89
3.1.4.4 <i>Calorímetro con poliestireno</i>	89
3.1.5 <i>Análisis costo-beneficio</i>	90
3.1.5.1 <i>Consumo de Watts</i>	90
3.1.5.2 <i>Tiempos de uso del calorímetro según su aislante</i>	90
3.1.5.3 <i>Costo de los aislantes</i>	90
3.1.5.4 <i>Consumo energía eléctrica (\$)</i>	91
3.2 <i>Discusión de resultados</i>	93
CAPITULO IV	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
4.1 Conclusiones	96
4.2 Recomendaciones	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
1	Proceso de espumación del poliuretano	30
2	Molécula de uretano	31
3	Vista Microscópica de las caídas del poliuretano	33
4	Aplicación para proyección	33
5	Aplicación por inyección	34
6	Esquema de una máquina de proyección de poliuretano	34
7	Disminución de la capacidad aislante por efecto del agua	36
8	Disminución de la capacidad aislante por efecto de la suciedad	36
9	Disminución de la capacidad aislante por efectos de las infiltraciones de aire	37
10	Disminución de la capacidad aislante por efecto de huecos	37
11	Disminución de la capacidad aislante por efecto del deterioro	38
12	Disminución de la capacidad aislante por efecto del asentamiento	38
13	Gran disminución de la capacidad aislante por la combinación de diversos efectos	39
14	Poliuretano proyectado, impermeable al agua y permeable al paso de vapor de agua.	42
15	Prueba antilflama del poliuretano	43
16	Esquema de transformación del poliestireno expandido	50
17	Materia prima antes y después de la pre expansión	51
18	Relación entre la conductividad térmica y la conductividad aparente	53
19	Deformación del material vs temperatura	55

20	Proceso de fabricación de lana de vidrio	60
21	Proceso de fabricación de lana de rosa	61
22	Determinación del coeficiente de enfriamiento e	68
23	Determinación de la temperatura real	69
24	Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro sin aislante	73
25	Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con lana de vidrio	75
26	Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliuretano	78
27	Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliestireno	81
28	Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro sin aislante	83
29	Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con lana de vidrio	85
30	Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliuretano	86
31	Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliestireno	87
32	Inversión total (\$)	92
33	Beneficio energético durante 2 años (\$)	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Valor de resistencia térmica en función del espesor	40
2 Coeficiente de absorción del poliuretano proyectado de celda cerrada en función de la frecuencia.	41
3 Conductividad térmica	53
4 Tolerancias Dimensionales	54
5 Estabilidad dimensional en condiciones constantes	55
6 Resistencia a la Flexión	56
7 Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro sin aislante	71
8 Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con lana de vidrio	74
9 Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliuretano	76
10 Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliestireno	79
11 Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro sin aislante	82
12 Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con lana de vidrio	84
13 Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliuretano	85
14 Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliestireno	87
15 Tiempos de uso del calorímetro según su aislante	90
16 Costo de los aislantes	90
17 Demostración costo-beneficio	91

LISTA DE CUADROS

	Pág.
1 Niveles, condiciones y requisitos.	55
2 Compatibilidad con otros productos	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
A RTE INEN 043:2010	98
B AISLAMIENTO TERMICO I	99
C AISLAMIENTO TERMICO II	100
D CALORIMETRO	101
E ENSAMBLAJE DEL CALORÍMETRO	102
F ENSAMBLAJE DEL CALORÍMETRO	103

LISTA DE ABREVIATURAS

Q_{cond}	= Transferencia por conducción
k	= Constante de proporcionalidad
R_{cond_plana}	= Resistencia térmica por conducción de una placa
A	= Área
Δx	= espesor del aislante
ΔT	= Diferencia de temperaturas
T_c	= temperatura del calorímetro
T_a	= temperatura del ambiente
e	= coeficiente de enfriamiento
T_o'	= temperatura inicial
T_m	= temperatura media
Tf^*	= temperatura real

INTRODUCCIÓN

Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica o, lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en $m^2.K/W$ (metro cuadrado y kelvin por vatio).

Dentro de las principales actividades q se llevan a cabo dentro de las industrias existe la necesidad de aislar térmicamente habitaciones, equipos, instalaciones, tuberías o medios de transporte que manejen productos como fluidos, alimentos o medicinas q deben mantenerse a una temperatura establecida la cual generalmente difiere de la temperatura ambiente.

La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica. Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos. Algunos, muy escasa, como los metales, por lo que se dice de ellos que son buenos conductores; los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros) tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos.

Ejemplos de estos aislantes térmicos específicos pueden ser las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio), las espumas plásticas derivadas del petróleo (poliestireno expandido, polietileno expandido, PUR, poliuretano expandido), reciclados como los aislantes celulósicos a partir de papel usado y la lana de oveja.

Cuando se produce un "agujero" en el aislamiento, producido por un material muy conductor o un agujero físico, se habla de un puente térmico.

ANTECEDENTES

Nacida como una empresa familiar, en alrededor de dos décadas ESPROM ha venido desarrollando un modelo de progreso basado en la continua capacitación de su personal y una visión orientada al uso de tecnología de punta, para así conquistar el liderazgo en nuestro país, en el campo de la espuma de poliuretano moldeada y proyectada.

El poliuretano es un material plástico de composición celular que se puede emplear como aislante térmico y acústico, así como también es un excelente impermeabilizante tanto en la edificación como en la industria.

El descubrimiento del poliuretano se remonta al año 1937, gracias a las investigaciones desarrolladas por Otto Bayer. Se empezó a utilizar en la década de los 50, ya que hasta entonces no existieron máquinas capaces de procesarlo.

En el año de 1991, ESPROM ingresó en el mercado del poliuretano, y desde entonces, brinda una amplia trayectoria que se perfecciona día a día. La elaboración de productos de poliuretano inyectado y proyectado es la principal actividad de la empresa, obteniendo resultados de excelentes características, con cualidades técnicas acordes a los más altos estándares de calidad.

Motivados por los permanentes cambios en las necesidades de los clientes y en una permanente búsqueda por satisfacer nuevas exigencias del mercado, se ha ingresado al país la tecnología necesaria para el aislamiento térmico con espuma de poliuretano proyectado, la cual presta condiciones sobresalientes y no comparables con otros productos que intentan cumplir con esta función.

Calidad, asistencia y continuo desarrollo forman parte de aquellos productos que se utilizan en la industria automotriz y carrocería, industria del mueble, industria del calzado y en general provee partes y piezas para otras industrias sólidamente inspirados por la capacidad productiva de la empresa y por la inmutable fe que ha puesto en nuestro país, ESPROM se compromete a seguir desarrollando nuevos productos y a mantener su prestigiosa posición dentro del mercado de unidades de transporte ecuatorianas.

JUSTIFICACIÓN

El poliuretano, en la actualidad, es utilizado en la fabricación de espumas proyectadas así como en la fabricación de paneles aislantes, para cámaras frigoríficas. Logrando un muy buen aislamiento del frío.

La empresa ESPROM PUR ingreso hace 5 años la tecnología del poliuretano proyectado a nuestro país, socializando sus beneficios y poniéndolo a disposición en diferentes campos como son los de la construcción, los frigoríficos y su especialidad debida a su fiel clientela las carrocerías metálicas de buses y furgones a nivel nacional.

Considerando la falta de estudios de campo por parte de la empresa a los trabajos finales, no se ha determinado la eficiencia energética que brinda el aislamiento con poliuretano, permitiendo conocer a su clientela las bondades de este procedimiento de una manera meramente teórica y basada en los datos recopilados en las bibliografías de la materia prima, es así que hemos de plantear los estudios y las pruebas necesarias a realizarse en el producto final para determinar la eficiencia real del producto y permitiendo al cliente o usuario conocer el ahorro energético, económico y ambiental que está adquiriendo al momento de utilizar el mencionado producto.

Tomando en cuenta estas consideraciones y junto con la gran responsabilidad que tiene ESPROM PUR con su prestigiosa clientela de proveer un producto de calidad y cien por ciento comprobado y garantizado, la empresa apoya y facilita los estudios para la determinación de la eficiencia del poliuretano proyectado como aislante térmico, comprometiéndose a ayudar en la construcción de un calorímetro a nivel de laboratorio que permitirá recopilar los datos necesarios para realizar el estudio correspondiente y calcular la eficiencia del poliuretano proyectado que está siendo distribuido.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- ✚ Determinar la eficiencia del poliuretano proyectado utilizado como aislante térmico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Ensamblar un calorímetro a escala de laboratorio para someterlo a las variaciones de temperatura reales a las que trabaja el material aislante.
- ✚ Tomar mediciones de temperatura reales en el calorímetro, tomando como referencia las condiciones de trabajo del aislante.
- ✚ Determinar la eficiencia térmica del aislamiento a partir de los datos simulados.
- ✚ Establecer la relación Costo/ Beneficio de utilizar el poliuretano proyectado como aislante térmico homologado a otros aislamientos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Transferencia de calor

En la transferencia de calor existente a través de un equipo o elemento entre dos entornos (interior y exterior) tienen lugar los tres mecanismos típicos de conducción, convección y radiación.

- El mecanismo de conducción (transferencia de calor a través de un material sin movimiento macroscópico) se realiza a través de los materiales sólidos.
- El mecanismo de convección (transferencia de calor por conducción con existencia de un movimiento macroscópico de los materiales) se realiza a través de los gases o líquidos, pudiendo ser el movimiento provocado o natural (por diferencia de densidades).
- El mecanismo de radiación (transferencia de calor entre superficies sin la necesidad de la presencia de un medio material entre ambas) se realiza a través del vacío o de medios transparentes o semitransparentes.

1.1.1 *Transferencia por conducción.* La ecuación que rige el intercambio de calor por conducción es la conocida ecuación de Fourier, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente de temperaturas en la dirección perpendicular al área considerada.

La constante de proporcionalidad se conoce como conductividad térmica del material, tomándose en general de forma práctica como constante. En realidad, puede presentar cierta dependencia con la temperatura del mismo. En esos casos se toma el valor medio dentro del campo de temperaturas en el que se desarrolla la aplicación

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ec. 1.1.1- 1}$$

Donde se define la resistencia térmica por conducción de una placa como:

$$R_{cond_placa} = \frac{\Delta x}{k} \quad \text{Ec. 1.1.1-2}$$

1.1.2 *Transferencia por convección.* La ecuación que rige el intercambio de calor por convección es la conocida ecuación de Newton, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad de área es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la superficie y la temperatura del fluido (líquido o sólido).

En este caso la constante de proporcionalidad se conoce como coeficiente de convección o coeficiente de película (y en la realidad es lo menos parecido a una constante).

Dicho coeficiente de convección presenta gran variación en función del tipo y cantidad de movimiento que presente el fluido, así como de su estado, e incluso del mismo gradiente de temperaturas (pared-fluido).

Respecto al movimiento se debe diferenciar entre movimiento provocado (forzado) por un elemento (bomba, ventilador) o por el ambiente (velocidad viento), y movimiento natural (debido a la diferencia de temperaturas dentro del fluido que a su vez provoca diferencia de densidades y por tanto desplazamiento).

Respecto a su estado, cabe diferenciar el caso de gases, líquidos o fluidos que en las condiciones de trabajo presenten cambios de fases (tuberías bifásicas).

$$Q = hA_s (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. 1.1.2-1}$$

Donde se define la resistencia térmica por convección de una placa como:

$$R_{conv_plana} = \frac{1}{h_{conv}} \quad \text{Ec. 1.1.2-2}$$

1.1.3 *Transferencia por radiación.* La ecuación que rige el intercambio de calor por radiación es la conocida ecuación de Stefan-Boltzman, la cual considera que la densidad de flujo de calor por unidad de área es proporcional a la diferencia a la cuarta potencia de temperaturas (en Kelvin) entre superficies. (Recordemos que únicamente se tiene en cuenta este tipo de mecanismo de intercambio de calor en presencia de gases, y en nuestro caso práctico, en aire).

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ec. 1.1.3-1}$$

1.2 Calorimetría

Es sabiendo que, para calentar un cuerpo o una sustancia cualquiera, debemos exponerla a la acción del calor o bien al contacto con otro cuerpo o medio que se encuentre a mayor temperatura que él.

Ocurre entonces que, si los líquidos de dos recipientes que están a distinta temperatura se ponen en contacto (se mezclan), alcanzan un estado térmico común. Explicamos este fenómeno diciendo:

- El cuerpo más caliente cede calor al más frío.
- El más frío recibe o absorbe calor del más caliente.

Por ello diremos:

El calor es lo que absorbe (o cede) un cuerpo para aumentar (o disminuir) su temperatura.¹

A fin de obtener una idea más precisa de calor, recordemos que, por acción del calor:

- Se dilatan los cuerpos, originando fuerzas de tracción de suma importancia.
- Se funden sólidos.
- El vapor de agua de una caldera aumenta la presión y esto provoca el movimiento de los émbolos de una locomotora.

Estos ejemplos manifiestan que el calor puede originar trabajo o transformarse en él, cuando se infla el neumático de la bicicleta o se martilla un clavo, notamos que el tubo del inflador o la cabeza del clavo se han calentado; es que el calor es una forma de energía.

Por lo tanto podríamos expresar que:

*El calor es una forma de energía capaz de calentar los cuerpos.*²

1.2.1 *Calorímetro.* Los calorímetros son aparatos destinados a establecer la cantidad de calor que absorbe o cede un cuerpo al variar su temperatura.

¹ CENGEL YUNUS, Termodinámica, Séptima edición. Editorial Mc Graw Hill. 2012. Pp. 278

² CENGEL YUNUS, Transferencia de calor y masa, Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. 2004. Pp. 279

Existen entre otros tipos, el calorímetro de las mezclas y el calorímetro de hielo, conocida la cantidad de calor ganada o perdida, la masa del cuerpo, y la variación de la temperatura, puede entonces determinarse el calor específico de la sustancia.

El calor desarrollado por reacción u otro proceso físico Q_p en la cámara de reacción que se halla inicialmente a una temperatura T_1 , actúa de tal modo que la temperatura final del calorímetro cambia hasta T_2 . Por el principio de conservación de la energía se puede expresar:

Calor cedido por reacción u otro proceso físico = Calor ganado por el calorímetro

El calor ganado por el calorímetro es:

$$Q_p = m_a C_{e\ agua}(T_2 - T_1) + m_c C_{e\ cal}(T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 1.2.1-1}$$

Dónde:

m_a : Es la masa del agua

$C_{e\ agua}$: Es el calor específico del agua

m_c : Es la masa de los componentes del calorímetro

$C_{e\ cal}$: Es el calor específico promedio de los componentes del calorímetro.

1.3 Características de un aislante térmico

- Están constituidos en su mayor parte por aire, los aislantes contienen más del 90% de su volumen en aire.
- El aire está constreñido por sólidos que forman pequeñísimos espacios, y le impiden su movimiento.
- Los sólidos NO son metálicos
- Son cuerpos opacos, deben ser opacos para impedir el paso de calor por radiación.
- Hoy en día, los aislantes se distinguen por ser más eficientes.
- Resistencia a la intemperie
- Resistencia mecánica
- Barrera al vapor
- Auto extingüibles o ser resistentes al fuego

1.4 Definiciones térmicas

Las definiciones más utilizadas son: calor, aislamiento térmico, conductividad térmica, resistencia térmica, conductancia térmica

- **Calor:** Está definido como la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico (ejemplo: una bebida fría dejada en una habitación se entibia).
- **Conductividad térmica (K):** La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(K \cdot m)$ (equivalente a $J/(s \cdot ^\circ C \cdot m)$). La conductividad térmica es una magnitud intensiva. Su magnitud inversa es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. Para un material isótropo la conductividad térmica es un escalar λ (k en Estados Unidos)
- **Resistencia térmica (R):** La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.
- **Conductancia térmica (U):** El valor “U” es un término usado para describir la cantidad de calor o frío que pasa a través de un cuerpo o elemento constructivo, tal como un muro o techo. Cuanto menor sea el valor “U”, menos energía se pierde y el mejor con estas características es el aislamiento térmico.

1.4.1 Beneficios potenciales de utilizar aislantes térmicos para la población.

- Uno de los beneficios más importantes que se tienen por incorporar los criterios de arquitectura bioclimática y metalmeccánica con aislamiento térmico en los medios de vivienda y transporte de las personas es, sin lugar a dudas, el confort de sus ocupantes.
- Sus ocupantes obtienen un mejor nivel de vida o transporte gracias a una temperatura interior controlada, en poblaciones donde su medio climático es constantemente variable.

1.4.2 En lo económico.

- El uso de una envolvente térmica eficiente se traduce en beneficios económicos tanto para la familia usuaria, como para el país y el medio ambiente.
- La instalación de aislamiento en techos, muros, furgones, buses y frigoríficos reduce la necesidad de refrigeración entre 27 y 38%.
- Los ahorros permiten una recuperación de inversión entre 2.2 y 2.7 años

1.5 Rendimiento térmico

El rendimiento térmico o eficiencia de una máquina térmica es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida (en un ciclo de funcionamiento) y la energía suministrada a la máquina (para que logre completar el ciclo termodinámico). Se designa con la letra griega η_{ter}

$$\eta_{ter} = \frac{E_{producida}}{E_{suministrada}} = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} \quad \text{Ec. 1.5-1}$$

1.6 Poliuretano

El poliuretano es el material aislante térmico más eficiente y duradero. Su baja conductividad térmica conferida por su estructura celular cerrada y su innovadora tecnología de fabricación lo han puesto a la cabeza de los productos que colaboran en el ahorro de energía a través del aislamiento térmico.

Es el material por excelencia en múltiples aplicaciones industriales y, sin duda, el producto más utilizado en el aislamiento de los edificios industriales y residenciales, frigoríficos, buses y furgones por su eficiencia energética, así el aislamiento de poliuretano en la envolvente de todos los edificios, las particiones entre viviendas, carrocerías metálicas y frigoríficos ofrece unas propiedades aislantes que perduran en el tiempo, no requieren mantenimiento y, además, son rentables económicamente.

Unido a su cooperación en las reducciones de emisiones de CO₂, el poliuretano se encuentra libre de cualquier contribución al agujero de ozono. Es un material orgánico derivado del petróleo pero que con su uso, ahorra petróleo.

Pero además, la espuma de poliuretano garantiza unas ventajas económicas tanto en su fabricación e instalación como en el uso del bien mueble, inmueble o móvil en el que será empleado.

Figura 1. Proceso de espumación del poliuretano



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

Existen dos sistemas de fabricación que conducen a dos productos diferenciados:

- Espuma rígida de poliuretano aplicado in-situ por proyección, o poliuretano proyectado, que se obtiene mediante pulverización simultánea de los dos componentes sobre una superficie denominada sustrato.
- Espuma rígida de poliuretano aplicada in-situ por colada, o poliuretano inyectado, en el que los dos componentes se mezclan físicamente por batido y se introducen en una cavidad en donde se realiza la expansión.

1.6.1 *Origen y obtención.* El descubrimiento del poliuretano se remonta al año 1937, gracias a las investigaciones desarrolladas por Otto Bayer. Se empezó a utilizar en la década de los 50, ya que hasta entonces no existieron máquinas capaces de procesarlo.

Los sistemas de poliuretano, hoy en día, son muy versátiles y permiten una gama amplísima de aplicaciones que forman parte de nuestra vida. Su uso se extiende, por ejemplo, a:

- ✓ Colchones y sofás (en forma de relleno)
- ✓ Automóviles (volantes, spoilers, alerones, asientos, salpicaderos, como amortiguación de vibraciones y ruidos, etc.)
- ✓ Suelas del calzado (sobretudo deportivo)
- ✓ Fabricación de muebles
- ✓ Pinturas y barnices
- ✓ Ventanas
- ✓ Ingeniería médica (fabricación de piezas para trasplantes y ortopedias, hemofiltros, etc.)
- ✓ Ingeniería aeroespacial
- ✓ Industria del frío (tuberías, cámaras frigoríficas, neveras, criogenia, etc.)
- ✓ Y, por supuesto, en la edificación, como aislamiento térmico, acústico e impermeabilizante.

Las materias primas proceden de dos productos: el petróleo y el azúcar, para obtener, después de un proceso químico de transformación, dos componentes básicos, llamados genéricamente ISOCIANATO y POLIOL. La mezcla en las condiciones adecuadas de estos dos componentes nos proporcionará, según el tipo de cada uno de ellos y los aditivos que se incorporen, un material macizo o poroso, rígido o flexible, de celdas abiertas o cerradas, etc.

Figura 2. Molécula de uretano

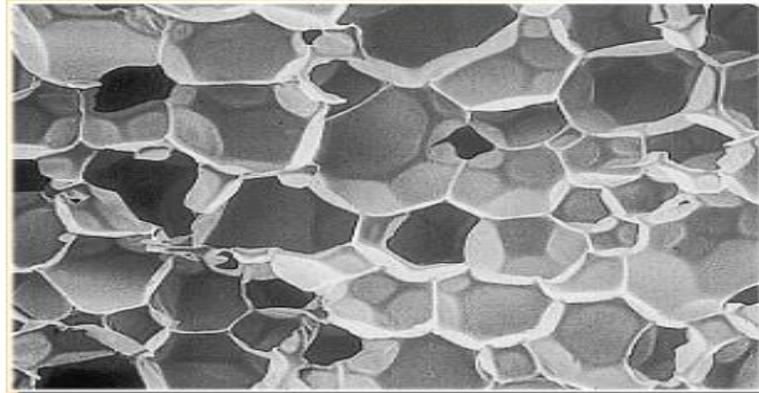


ATEPA. Libro blanco del poliuretano

La mezcla de los dos componentes POLIOL e ISOCIANATO, que son líquidos a temperatura ambiente, produce una reacción química exotérmica. Esta reacción química se caracteriza por la formación de enlaces entre el polioliol y el isocianato, consiguiendo una

estructura sólida, uniforme y muy resistente. Si el calor que desprende la reacción se utiliza para evaporar un agente hinchante, se obtiene un producto rígido que posee una estructura celular, con un volumen muy superior al que ocupaban los productos líquidos. Es lo que denominamos espuma rígida de poliuretano, o PUR.

Figura 3. Vista Microscópica de las células del poliuretano



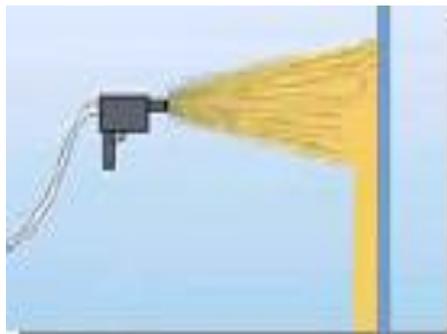
ATEPA. Libro blanco del poliuretano

La espuma rígida de poliuretano es un material sintético duroplástico, altamente reticulado espacialmente y no fusible. En las densidades habituales, para aislamiento térmico, la espuma contiene solamente una pequeña parte del volumen de materia sólida (con una densidad de 35 kg/m³, sólo el 3% del volumen es materia sólida).

Existen dos sistemas de fabricación que conducen a dos productos diferenciados:

- ❖ Espuma rígida de poliuretano aplicada in situ por proyección, o poliuretano proyectado, que se obtiene mediante pulverización simultánea de los dos componentes sobre una superficie denominada sustrato.

Figura 4. Aplicación para proyección



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

- ❖ Espuma rígida de poliuretano aplicada in situ por colada, o poliuretano inyectado, en el que los dos componentes se mezclan físicamente por batido y se introducen en una cavidad donde se realiza la expansión.

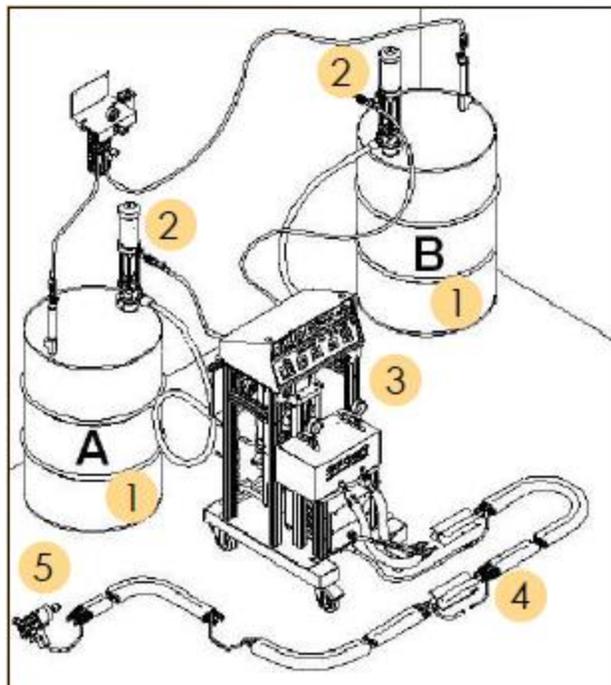
Figura 5. Aplicación por inyección



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

La proyección del poliuretano sobre la superficie destinada se realiza mediante una máquina específica para este procedimiento, la cual permite calibrar el caudal de cada componente tipo fluido (poliol, isocianato) así como la presión en la cámara de mezcla, la cual se encuentra en la punta de la pistola aplicadora siendo este el lugar donde ocurrirá el inicio de la reacción química.

Figura 6. Esquema de una máquina de proyección de poliuretano



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

- 1) Materias primas (Poliol, Isocianato)
- 2) Bombas de tasego
- 3) Máquina de proyección
- 4) Manguera calefactada
- 5) Pistola

1.6.2 *Aislamiento térmico.* La alta capacidad aislante del poliuretano proyectado no se consigue en el mercado con ningún otro de los materiales aislantes comúnmente empleados. Esta característica especial se debe a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de las celdas cerradas.

El poliuretano proyectado no supera el valor de conductividad térmica inicial de $k_{10^{\circ}\text{C}} = 0,022 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ debido a que las celdas no impiden totalmente la difusión de gases a través de sus paredes, este valor de conductividad va aumentando ligeramente con el tiempo hasta llegar finalmente a estabilizarse. En la práctica se considera como valor de cálculo de conductividad térmica de la espuma el obtenido después de 9 meses de envejecimiento acelerado $0,028 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

Gracias a esta baja conductividad térmica, $\lambda_{10^{\circ}\text{C}} = 0,028 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, el poliuretano proyectado alcanza los valores de aislamiento térmico exigidos en el CTE con el mínimo espesor, lo que permite dejar una mayor superficie habitable, con el consiguiente beneficio económico.

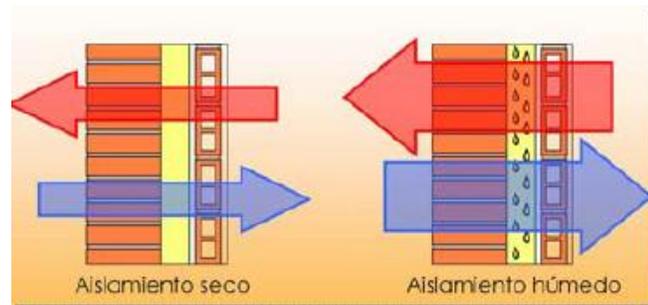
Por otra parte, si se incorporan espesores de poliuretano similares al de otros materiales, se consigue mayor resistencia térmica y mayor ahorro energético, lo que redunda también en un beneficio económico para el usuario.

1.6.2.1 *Valor de conductividad térmico robusto.* El valor de conductividad térmica envejecida de la espuma de poliuretano es muy robusto frente a cualquier otro efecto como pudiera ser la presencia de humedad, la suciedad, la falta de estanqueidad al aire, la presencia de huecos en el aislamiento, el deterioro del mismo o la falta de integridad física.

1.6.2.1.1 *Presencia de humedad.* La conductividad térmica de un producto aislante húmedo es mayor que la de un aislante térmico seco, de la misma forma que un jersey

húmedo abriga menos que un jersey seco. Será necesario evitar que un aislamiento pueda coger humedad ya que, por ejemplo, un aislamiento térmico con un contenido de agua del 1% en volumen puede incrementar su conductividad térmica entre un 75% y un 105%. ³El poliuretano proyectado, al ser un producto de celda cerrada, presenta impermeabilidad al agua.

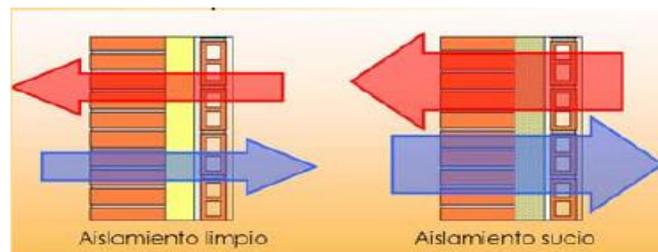
Figura 7. Disminución de la capacidad aislante por efecto del agua



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

1.6.2.1.2 *Suciedad*. La conductividad térmica se verá gravemente perjudicada por la presencia de suciedad en el interior del aislamiento por lo que será preferible que el producto utilizado mantenga sus propiedades térmicas independientemente de la suciedad presente en el ambiente. La estructura de celdas cerradas del poliuretano proyectado impide la entrada de partículas en su interior.

Figura 8. Disminución de la capacidad aislante por efecto de la suciedad



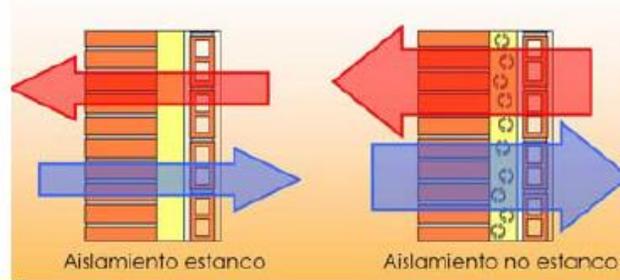
ATEPA. Libro blanco del poliuretano

1.6.2.1.3 *Falta de estanqueidad al aire*. Si la hoja principal está compuesta de fábrica de ladrillo, o de bloque aligerado, es posible que existan infiltraciones de aire desde el

³ Building Regulations for the Conservation of Fuel and Power. Impact Assessment, BRUFMA

exterior al interior de la cámara. El poliuretano proyectado, al ser estanco al aire, evitará estas infiltraciones de aire frío. Los movimientos de aire a través de un aislante no estanco o con juntas pueden reducir los valores de aislamiento hasta en un 40%.⁴

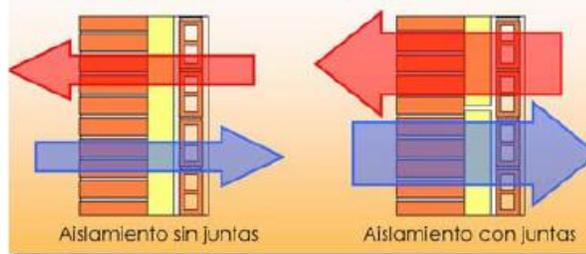
Figura 9. Disminución de la capacidad aislante por efectos de las infiltraciones de aire



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

1.6.2.1.4 *Presencia de huecos en el aislamiento.* Las juntas, la terminación superior e inferior, los huecos de persianas, etc, podrían producir corrientes de convección que comunicarían ambas caras del aislamiento y reducirían su efectividad. Será necesario asegurar la ausencia total de huecos en el aislamiento, ya que la presencia de huecos en el 6% de la superficie aislada provocaría un incremento de la conductividad térmica del 30%. El poliuretano proyectado, al ser un producto adherido, en continuo y sin juntas, no se verá perjudicado por este efecto.⁵

Figura 10. Disminución de la capacidad aislante por efecto de huecos



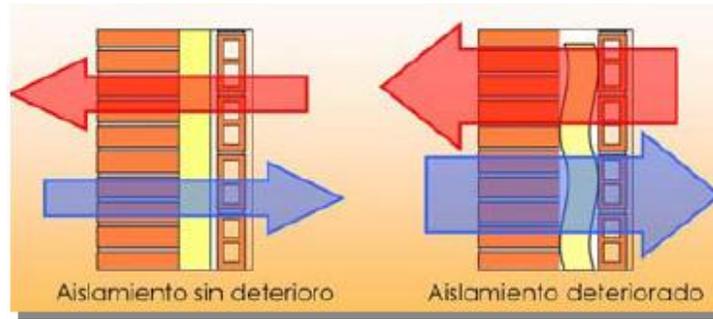
ATEPA. Libro blanco del poliuretano

⁴ "Experimental and theoretical investigation of the influence of natural convection in walls with slab type insulation" y "Sensitivity of insulation wall and ceiling cavities to workmanship"

⁵ Retrofitting: Wall insulation and roof spraying. Mr Paul Denham. BRUFMA conference 2004

1.6.2.1.5 *Deterioro del aislamiento.* En todos los productos aislantes la instalación es el aspecto más importante para que el producto final alcance todas las prestaciones térmicas declaradas. Una mala instalación podría provocar despegues y descuelgues que perjudicarán gravemente la efectividad de aislamiento.

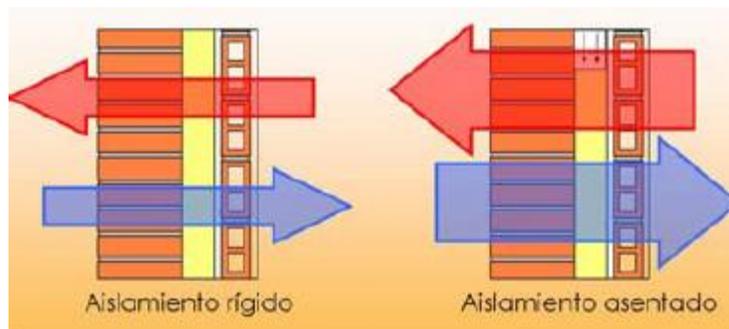
Figura 11. Disminución de la capacidad aislante por efecto del deterioro



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

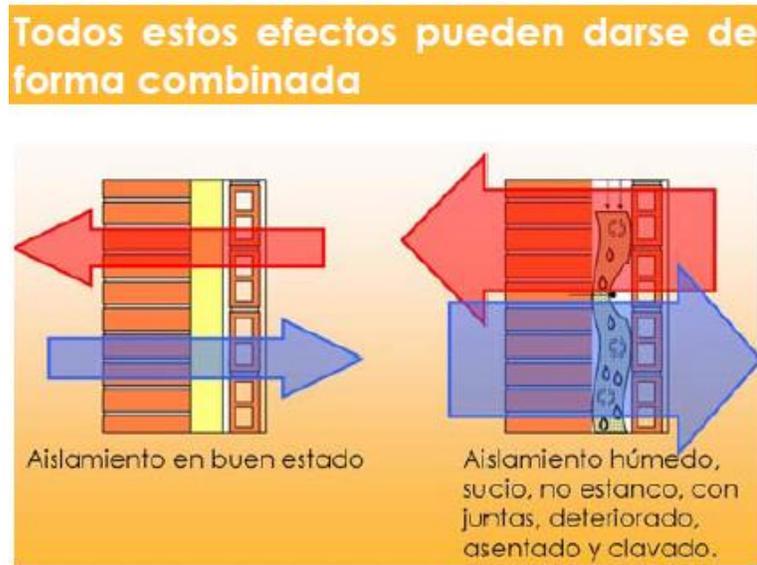
1.6.2.1.6 *Integridad física.* El paso del tiempo puede provocar asentamientos y compactación en productos poco consistentes. El poliuretano proyectado, al ser un material rígido, no puede sufrir estos efectos

Figura 12. Disminución de la capacidad aislante por efecto del asentamiento



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

Figura 13. Gran disminución de la capacidad aislante por la combinación de diversos efectos



ATEPA. Libro blanco del poliuretano

Al ser el poliuretano proyectado un producto continuo y sin juntas, hay ausencia total de puentes térmicos ocasionados por las juntas, los solapes, o los encuentros con los forjados, y resulta muy sencillo tratar los puentes térmicos integrados en fachada como pilares, cajas de persiana y contorno de huecos.

1.6.3 *Resistencia térmica.* A partir del valor de conductividad, y conociendo el espesor aplicado, se puede conocer la resistencia térmica aplicando la siguiente relación.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ec. 1.6.3-1}$$

Dónde:

R = Resistencia térmica en $\text{m}^2\text{K/W}$

E = Espesor en m

λ = Conductividad térmica en $\text{W/m}\cdot\text{K}$

De donde se puede obtener la siguiente tabla de valores

Tabla 1. Valor de resistencia térmica en función del espesor

ESPESOR (mm)	RESISTENCIA TÉRMICA (m²K/W)
20	0,71
25	0,89
30	1,07
35	1,25
40	1,43
45	1,61
50	1,79
55	1,96
60	2,14
65	2,32
70	2,50
75	2,68
80	2,86
85	3,04
90	3,21
95	3,39
100	3,57

ATEPA. Libro blanco del poliuretano

1.6.4 *Aislamiento Acústico*. El poliuretano proyectado tradicional es un material compuesto de celdas cerradas (> 90%) y ligero, de baja densidad. Puede utilizarse combinado con otros materiales para reducir la transmisión del ruido. Podemos señalar como muy positivo el efecto de sellado que realiza en los cerramientos por ser un sistema continuo estanco, aportando por esta razón un buen resultado en cuanto al aislamiento al ruido aéreo, incrementando este aislamiento, según los casos, entre 7 y 9 dBA.

También en la construcción actúa muy eficazmente como amortiguador de vibraciones, ayudando a la eliminación de resonancias. En la siguiente tabla figura el coeficiente de absorción en función de la frecuencia. El coeficiente de reducción de transmisión de ruidos es 0,32.

Tabla 2. Coeficiente de absorción del poliuretano proyectado de celda cerrada en función de la frecuencia.

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción
125	0,12
250	0,18
350	0,20
500	0,27
1.000	0,19
2.000	0,62
4.000	0,22

ATEPA. Libro del poliuretano blanco

1.6.5 *Impermeabilidad de fachadas.* Con un revestimiento continuo intermedio como el poliuretano proyectado sobre la cara interior del cerramiento exterior de la fachada, no sería necesario tomar ninguna otra precaución adicional y se cumpliría con el máximo grado de impermeabilidad, válido para cualquier zona climática.

El poliuretano proyectado, al no ser a base de paneles o mantas, se puede aplicar directamente sobre la hoja exterior sin necesidad de separadores lo que simplifica notablemente su correcta instalación.

ATEPA, la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado ha realizado dos ensayos a gran escala que vienen a confirmar las buenas propiedades del poliuretano proyectado para proteger frente a la entrada de agua:

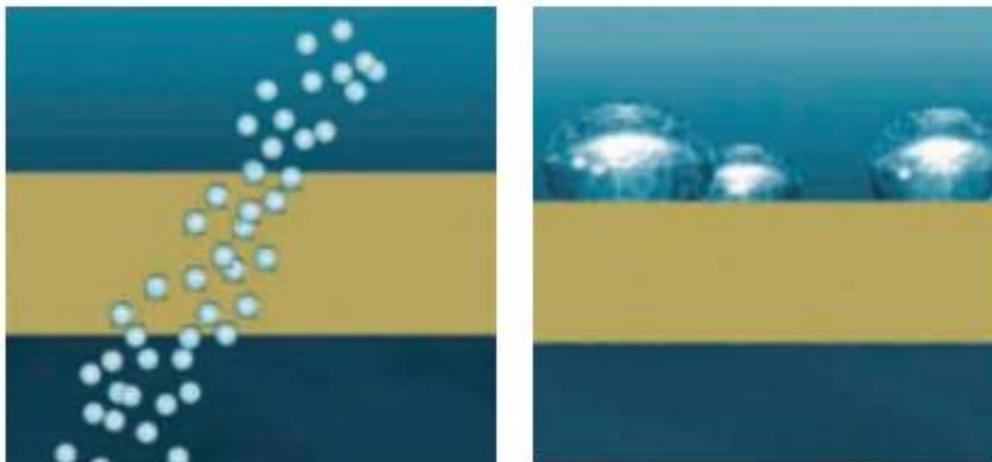
- Investigación sobre nuevas aplicaciones de espuma de poliuretano aplicada in-situ realizado por el Instituto Eduardo Torroja. Como resultado tras un año de ensayo se obtuvo que en ninguna circunstancia se detectó penetración de agua a través de las superficies cubiertas con poliuretano proyectado⁶
- Ensayo de resistencia al agua de lluvia, realizado por CIDEMCO sobre un muro de ladrillo cara vista revestido con poliuretano proyectado. El ensayo se prolongó hasta 140 minutos elevando la presión sobre la cara mojada del muro hasta los 1800 Pa, sin

⁶ Instituto Eduardo Torroja (Informe del instituto Eduardo Torroja N° 17257)

que se produjesen en ningún momento penetraciones de agua. De esta forma se llegó a simular una velocidad de viento de casi 200 km/h sin penetración alguna de agua.⁷

1.6.6 *Control de humedad.* El poliuretano proyectado actúa como una membrana reguladora de humedad, ya que, siendo impermeable, es permeable al vapor de agua. El grado de permeabilidad al vapor de agua se puede reducir aumentando la densidad de la espuma. Así en cualquier condición climática podremos encontrar el nivel de resistencia al paso de vapor de agua adecuado para evitar condensaciones y permitir el máximo flujo de vapor.

Figura 14. Poliuretano proyectado, impermeable al agua y permeable al paso de vapor de agua.



ATEPA

1.6.7 *Seguridad frente al fuego.* El poliuretano proyectado como todos los polímeros, es un material orgánico y por tanto combustible. No obstante existen espumas de poliuretano clasificadas desde C hasta E, debiendo aplicarse unas u otras de acuerdo con el riesgo a que vayan a estar expuestas y de acuerdo a las exigencias de la normas del lugar en donde serán aplicadas.

⁷ Norma UNE-EN 12865, realizado por CIDEMCO (informe de CIDEMCO N° 13752)

De acuerdo a la norma INEN 1668, para carrocerías metálicas de buses, debido a la posibilidad de accidentes en la vía con riesgo de llama, el poliuretano aplicado debe ser autoextinguible, es decir que en caso de llama el mismo se apagara dentro de 5 segundos máximo evitando la propagación del fuego.⁸

Figura 15. Prueba antilama del poliuretano



ESPROM PUR

1.6.8 *Salubridad*. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer⁹, lleva a cabo, entre otras funciones, la clasificación de todos los productos o agentes según su riesgo de producir cáncer atendiendo a la siguiente clasificación:

Grupo 1: Agentes cancerígenos para el hombre.

Grupo 2 A: Agentes probablemente cancerígenos para el hombre.

Grupo 2 B: Agentes posiblemente cancerígenos para el hombre.

Grupo 3: No son clasificables por lo que respecta a su carácter cancerígeno para el hombre.

⁸ NORMA INEN NTE 1 668 – 1988 VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS METÁLICAS PARA BUSES INTERPROVINCIALES. REQUISITOS

⁹ Agencia internacional para investigación sobre el cáncer: www.iarc.fr

La espuma de poliuretano se clasifica en el Grupo 3, es decir, no clasificable por lo que respecta a su carácter cancerígeno para el hombre.¹⁰

Por otra parte, en la vida cotidiana nos vemos inmersos en multitud de elementos de poliuretano en contacto directo con nuestro cuerpo: Suelas de zapatos, colchones, cojines, juguetes, pinturas, prótesis, material quirúrgico y piezas del automóvil como volantes, reposacabezas, salpicaderos o embellecedores.

1.6.9 *Sostenibilidad*. Un producto será sostenible cuando el impacto negativo que produce no supere al impacto positivo.

Este impacto tiene tres facetas: medioambiental, económico y social



El poliuretano proyectado ofrece un balance positivo en tres facetas de la sostenibilidad:

- **Beneficio medioambiental:** La eficiencia térmica del poliuretano, que alcanza mayores aislamientos con menores espesores, permite que la energía necesaria para fabricar, transportar, instalar, y tratar los residuos del poliuretano proyectado se compense con la energía ahorrada durante el primer año de uso, y a lo largo de su vida útil el poliuretano proyectado ahorra casi 100 veces la energía utilizada.

¹⁰ <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Listagentsalphorder.pdf>

- **Beneficio económico:** Reducir las pérdidas energéticas a través de la parte ciega del cerramiento, carrocería o cara interna de donde se va a aplicar, con un aislamiento de poliuretano, ya sea proyectado o inyectado, es la forma más barata de ahorrar energía, aparte de revalorizar la vivienda. Además el aislamiento de poliuretano no tiene gastos de mantenimiento o sustitución a lo largo de toda su vida útil.
- **Beneficio social:** Una adecuada climatización es esencial para garantizar el confort y la salud de las personas que habitan los espacios, y el aislamiento térmico de la envolvente es el mejor modo de asegurar una temperatura de confort uniforme en cualquier lugar de la instalación.

1.6.10 *Reciclado.* Existen múltiples posibilidades:

- ❖ **Reciclado como material:** Los restos de poliuretano, una vez molidos, pueden volver a ser utilizados como relleno del sistema original. Los restos de espuma desmenuzados se pueden volver a utilizar bien prensados para fabricar nuevas piezas con la misma calidad. Los restos de espuma flexible se utilizan para la fabricación de placas de grandes dimensiones, o para los acolchados de las moquetas.
- ❖ **Aprovechamiento térmico:** Todos los desechos de poliuretano se pueden quemar en modernas cámaras de combustión para transformar la energía en electricidad y de esta manera contribuir a preservar los recursos naturales.
- ❖ **Reciclado como materia prima:** A través del proceso de glicólisis se pueden transformar los restos de la producción nuevamente en materia prima. El polioliol obtenido con esta técnica se puede volver a utilizar para fabricar poliuretano.

1.6.11 *Adherencia.* El poliuretano proyectado presenta gran adherencia sobre sustratos consistentes, limpios y secos, y la adherencia de otros materiales al poliuretano se puede elevar según la necesidad tanto físicamente, rascando la superficie, como químicamente, mediante el empleo de una imprimación.

No obstante hay algunos aspectos que pueden observarse para mejorar esta propiedad.

- El sustrato ha de presentar buena consistencia. Si presentara óxido fácilmente desprendible, suciedad, arena o textura terrosa, el poliuretano se adheriría a la primera capa, pero ésta sería fácilmente desprendible.

- Sobre materiales metálicos lisos como acero, aluminio, habrá que realizar una limpieza desengrasante y posteriormente un tratamiento como una aplicación de pintura epoxi, que además protegerá del óxido.
- Sobre una capa de mortero pobre o arenoso, o cualquier otra superficie no firme, será conveniente dar una capa de mortero rico, ya que debido a la contracción normal de poliuretano se pueden producir levantamientos arrastrando consigo, por falta de cohesión, la superficie sobre la que se ha aplicado.
- Sobre superficies de hormigón, será necesario limpiar la lámina de lechada superficial con un cepillo adecuado donde ésta esté presente.
- Sobre una película de polietileno, material antiadherente por excelencia, será necesario flamearla con soplete para conseguir buena adherencia de la espuma. Sin embargo, sobre algunos plásticos como polipropileno o teflón nunca se conseguirá adherencia.
- Sobre soportes con exceso de humedad, como superficies mojadas o con condensaciones superficiales, habrá que evitar aplicar, ya que se podrán generar bolsas y despegues del poliuretano en la zona aplicada. El problema será más acentuado cuanto menos porosa sea la superficie.
- Sobre una tela asfáltica no auto protegida, la tela asfáltica deberá estar adherida en toda su superficie y se habrá de haber eliminado la capa de polietileno antiadherente mediante flameado

En lo relativo a la adherencia de otros productos al poliuretano ya aplicado, se puede comentar lo siguiente: En cubiertas planas, o incluso con inclinaciones menores de 30° no será necesario tomar ninguna precaución para asegurar la adherencia entre el poliuretano y la capa posterior.

En cubiertas inclinadas, y dependiendo de la inclinación y de la naturaleza del material que se vaya a colocar sobre el poliuretano proyectado, podemos seguir las siguientes precauciones:

- Aplicar una resina básica o cualquier otra imprimación sobre la espuma. De esta forma mejoraremos notablemente la adherencia de la capa posterior que echemos. Una cola de empapelar, por ejemplo, cumpliría perfectamente esta función.
- Una acción que se realiza sobre el poliuretano proyectado bajo forjado para mejorar el agarre de una capa de enlucido de yeso, por ejemplo, consiste en raspar la superficie

de la espuma con un cepillo de alambres, para permitir anclaje mecánico a las celdas rotas del poliuretano.

- También se puede clavar a la espuma una tela de gallinero o mallazo fino, para dar mayor resistencia mecánica al recubrimiento y hacerlo más resistente a la fisuración.

Todos estos tratamientos se pueden combinar entre si para aumentar hasta el grado deseado la adherencia de las distintas capas.

1.6.12 *Estabilidad química.* El poliuretano proyectado es resistente frente a los materiales habitualmente empleados en exteriores. Pueden pintarse, barnizarse, pegarse, revestirse o puede ser utilizado como revestimiento de lugares con atmósferas agresivas. Es resistente a la acción de raíces, e inerte bioquímicamente frente al ataque de mohos. Es imputrescible, estable ante el detritus, inodoro, fisiológicamente con presenta inconvenientes y es químicamente neutro.

1.6.13 *Las aplicaciones del poliuretano asociado a la cadena alimentaria.* Una cadena de frío alimentaria es una cadena de suministro en la que la temperatura está controlada y que permite retrasar la fecha de caducidad de los productos alimenticios, comienza en los centros de producción de alimentos y termina en las neveras domésticas.

El poliuretano aislante térmico participa en todas las fases del proceso, desde el aislamiento de granjas, pasando por la distribución de grandes contenedores refrigerados y almacenes frigoríficos o de conservación, el almacenado en supermercados hasta su destino final en las neveras, congeladores o de uso doméstico.

El Poliuretano aislante térmico no sólo es un material versátil con características beneficiosas como eficiencia, resistencia y durabilidad, sino que también ofrece una combinación única de ligereza y estructura de celda cerrada. Esta es una de las razones principales que le dotan de una relación muy favorable entre aislamiento y espesor (eficiencia), ya que ahorra espacio y material y alcanza la cantidad óptima de aislamiento térmico necesario. Gracias a estas ventajas, los poliuretanos se han convertido en el material aislante y el elemento constructivo de preferencia en muchos segmentos de la cadena de alimentos, llegando a alcanzar el 100% en algunos de ellos.

1.6.14 *Ventajas en la fabricación.*

- Transporte: Se transporta en estado líquido hasta el punto más cercano a la aplicación final. De esta manera se evita el transporte de espuma (97% gas) y se reduce al mínimo el espacio de almacenaje.
- Velocidad/flexibilidad/servicio desde el momento de la fabricación de la espuma hasta su instalación final.

1.6.15 *Ventajas en la instalación.*

- Producto ligero: se ahorra en cimentación y estructuras y no precisa el empleo de maquinaria pesada.
- Rápida instalación: Al ser espuma proyectada no se requiere mucho personal. Esto conlleva una optimización de los calendarios de obras.
- Productos versátiles: Existe un alto nivel de diseño en paneles o puede aplicarse en forma de espuma proyectada sobre casi toda superficie y forma.

1.6.16 *Ventajas en la utilización.*

- Ahorro energético.
- Ganancia de espacio: Presenta un mínimo espesor con máximo aislamiento, muy útil por ejemplo en cámaras frigoríficas y camiones.
- Mantenimiento casi nulo: Es un producto resistente a microorganismos y agentes químicos

1.6.17 *Eficiencia energética.* Según ECOFYS, tanto la industria como el transporte suponen un 30% de las emisiones de CO2 respectivamente, mientras que los edificios alcanzan el 40%, porcentaje que continua creciendo.

Este crecimiento se debe fundamentalmente al uso generalizado de la calefacción y los aparatos de aire acondicionado, así como a las deficiencias de diseño y aislamiento de los edificios. De hecho, si analizamos las cifras de emisiones en los edificios comprobamos

que el 65% proviene de la calefacción y el aire acondicionado y, sin embargo, la luz y el equipamiento eléctrico solo suponen un 35%.

Es indudable que los edificios demanden energía para satisfacer las necesidades de sus usuarios pero, al mismo tiempo, presentan importantes pérdidas energéticas. En concreto, los edificios tienen unas pérdidas energéticas del 40% por las paredes, 22% por los techos, 21 % por las ventanas, 15% por los suelos y un 2% a través de las puertas.

De este modo, el aislamiento representa el modo más eficaz para mejorar la eficiencia energética de los edificios que, además, permanece en el tiempo, no requiere mantenimiento y es rentable económicamente.

1.7 Poliestireno expandido (espumaflex)

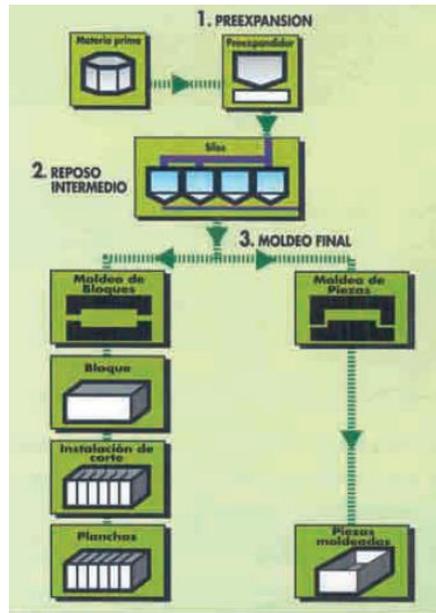
El Poliestireno Expandido o EPS es un material plástico espumado utilizado en el sector de la Construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del Envase y Embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas.

El Poliestireno Expandido - EPS se define técnicamente como: «Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire».

La estructura celular le proporciona sus excelentes prestaciones como aislante térmico y como material aligerante. También destacan dentro de sus cualidades la capacidad para ser moldeado y conseguir, dependiendo de su fabricación, una gran gama de productos con innumerables aplicaciones en edificación y en obra civil.

1.7.1 Proceso de fabricación. A continuación se muestra, de manera esquemática, el proceso de fabricación del poliestireno expandido, partiendo de su materia prima: el poliestireno expandible (material granulado con agente expandente en su interior).

Figura 16. Esquema de transformación del poliestireno expandido



Guía FENERCOM

El proceso de transformación lleva a cabo únicamente medios físicos (el proceso de obtención de la materia prima es un proceso químico desde el pozo petrolífero hasta el envasado del llamado "Poliestireno expandible", en cambio, el proceso de transformación se lleva a cabo únicamente por medios físicos), al Poliestireno Expandido

1.7.1.1 Pre expansión. Por pre expansión se entiende el reblandecimiento de las partículas de materia prima por efecto del calor y el subsiguiente hinchamiento de estas partículas derivado del aumento de volumen del agente de expansión (pentano). Para este proceso, la materia prima se calienta en unas instalaciones especiales denominadas pre expansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aprox. 80 y 110 °C. Los pre expansores pueden ser continuos (alimentación de materia prima y vapor de forma ininterrumpida) o discontinuos (cerrados y con dosificación definida de materia prima). En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades mecánicas de las mismas que resulta muy conveniente antes del transporte neumático a los silos de reposo intermedio.

En la imagen, se muestra el antes y después de esta etapa.

Figura 17. Materia prima antes y después de la pre expansión



Guía FENERCOM

Al enfriarse las partículas recién expandidas se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas que oscilan, normalmente, entre los 10 - 30 kg/m³.

En el proceso de pre expansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

El proceso de pre expansión puede proseguir una vez transcurrido un determinado periodo de reposo intermedio cuando se desea obtener una densidad aparente menor y no es viable conseguirlo en una única pre expansión.

Lecho fluidizado: esta es una instalación de secado, que se instala a la salida del pre expansor y donde se secan las perlas dentro de una corriente de aire ascendente consiguiéndose una estabilización mecánica de las mismas que resulta muy conveniente antes del transporte neumático a los silos de reposo intermedio.

1.7.1.2 *Reposo intermedio y estabilización.* Al enfriarse las partículas recién expandidas se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre

expandido en silos ventilados. Durante el reposo intermedio se desarrollan simultáneamente varios procesos:

- Se difunde aire al interior de las celdillas a través de sus membranas consiguiendo la estabilidad mecánica de las partículas.
- Se emite humedad a la atmósfera mejorándose el transporte de las perlas y el llenado de moldes complicados.
- Se elimina por difusión el exceso de agente de expansión reduciéndolo a las cantidades estrictamente necesarias para la siguiente etapa.

1.7.1.3 *Expansión y moldeo final.* En esta etapa las perlas pre expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua y las perlas, a través de una nueva expansión se sueldan entre sí formándose una estructura poliédrica.

De esta forma se pueden obtener grandes bloques (que posteriormente se mecanizan en las formas deseadas como planchas, bovedillas, cilindros, etc.) o productos conformados con su acabado definitivo.

Este proceso hace que el EPS esté compuesto por un 98% de aire, confiriéndole gran capacidad aislante y, además, se le puede dar cualquier forma deseada a través del moldeo.

1.7.2 *Propiedades físicas.* A continuación se explican las propiedades más importantes del EPS relacionadas con el aislamiento

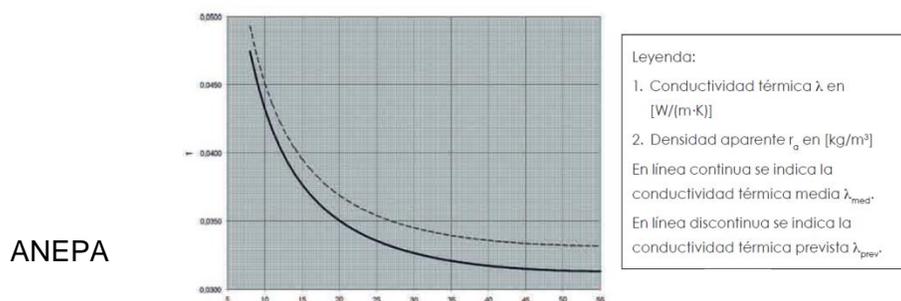
1.7.2.1 *Resistencia y conductividad térmica.* Cada fabricante debe declarar el valor de la resistencia térmica y de la conductividad térmica. Anteriormente la norma regulaba los valores de resistencia y conductividad térmica, en la que la propia norma marcaba el valor de la conductividad térmica para cada uno de los tipos de EPS. Ahora es el fabricante, y no la norma, el que dice cuál es el valor de esta propiedad para cada uno de sus productos. Además, esta propiedad se debe obtener después de aplicar un proceso estadístico a los valores obtenidos por ensayo en una serie de muestras, de forma que el

valor declarado represente al menos el 90% de la producción con un nivel de confianza del 90 %. Con ello se obtiene los valores de la resistencia térmica $R_{90/90}$ y de la conductividad térmica $K_{90/90}$. Estos valores se redondean a la baja y al alza, respectivamente, para obtener los valores declarados, R_D y K_D .

Por último, estas propiedades se expresan a una temperatura de 10 °C y en $m^2 \cdot K/W$ para la resistencia térmica, y en $W/(m \cdot K)$ para la conductividad térmica.

A continuación en el siguiente gráfico, se reproduce la curva que expresa la relación entre la conductividad térmica (para un espesor de referencia de 50 mm y a una temperatura media de 10 °C) y la densidad aparente. Esta curva sólo es válida para productos de EPS obtenidos con materias primas estándar. Otros productos obtenidos a partir de materias primas especiales que incorporan aditivos para mejorar el comportamiento térmico, tienen otra curva distinta.

Figura 18. Relación entre la conductividad térmica y la conductividad aparente



A continuación en la siguiente tabla se indican los valores más habituales de la conductividad térmica, para una serie de densidades recomendadas.

Tabla 3. Conductividad térmica

DENSIDAD Kg/m^3	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA $W/(m \cdot K)$	MEDIA PREVISTA
15 0,038 0,040	18 0,036 0,038	20 0,035 0,037
22 0,034 0,036	25 0,034 0,035	28 0,033 0,035
30 0,033 0,035	32 0,032 0,034	35 0,032 0,034

ANAPE

1.7.2.2 *Tolerancias Dimensionales.* Las tolerancias dimensionales de los productos manufacturados de poliestireno expandido, no pueden exceder de los valores indicados en la siguiente tabla, en función de la clase declarada por el fabricante:

Tabla 4. Tolerancias Dimensionales

PROPIEDAD	CLASE	TOLERANCIAS	
		PLANCHAS	ROLLOS
Longitud	L1	$\pm 0,6\%$ ó $\pm 3\text{mm}$	-1% + sin restricción
	L2	$\pm 2\text{mm}$	
Anchura	W1	$\pm 0,6\%$ ó $\pm 3\text{mm}$	$\pm 0,6\%$ ó $\pm 3\text{mm}$
	W2	$\pm 2\text{mm}$	
Espesor	T1	$\pm 2\text{mm}$	
	T2	$\pm 1\text{mm}$	
Rectangularidad	S1	$\pm 5\text{mm}/1000\text{mm}$	
	S2	$\pm 2\text{mm}/1000\text{mm}$	
Planeidad	P1	$\pm 30\text{mm}$	
	P2	$\pm 15\text{mm}$	
	P3	$\pm 10\text{mm}$	
	P4	$\pm 5\text{mm}$	

ANAPE

1.7.2.3 *Estabilidad Dimensional.* Se distinguen dos tipos de estabilidad dimensional. La primera se refiere a la obtenida en las condiciones constantes de laboratorio (23 °C y 50 % de humedad relativa), y la segunda a la obtenida bajo unas condiciones específicas de temperatura y humedad aplicadas durante un periodo de tiempo (normalmente 48 horas). La estabilidad dimensional indica la alterabilidad del material ante los cambios ambientales y se puede usar para probar la durabilidad de la resistencia térmica frente al calor, la climatología, el envejecimiento y la degradación.

Para la estabilidad dimensional en condiciones constantes de laboratorio, se distinguen dos clases:

Tabla 5. Estabilidad dimensional en condiciones constantes

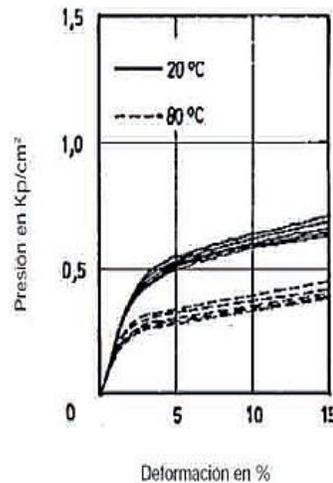
CLASE	REQUISITO %
DS(N) 5 ± 0,5 %	DS(N) 2 ± 0,2 %

ANAPE

1.7.2.4 *Deformación bajo condiciones específicas de carga a compresión y temperatura.*

Esta propiedad indica el comportamiento de un material sometido a carga. El comportamiento de la deformación del material depende de la temperatura ambiental, siendo mayor la deformación cuanto mayor es la temperatura.

Figura 19. Deformación del material vs temperatura



ANAPE

Para esta propiedad se distinguen los niveles, condiciones y requisitos que se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 1. Niveles, condiciones y requisitos.

NIVEL	CONDICIONES	REQUISITO
DLT(1)5	carga: 20 kPa temperatura etapa A: (23 ± 5)°C temperatura etapa B: (80 ± 1)°C tiempo en cada etapa: (48 ± 1)h	≤ 5%
DLT(2)5	carga: 40 kPa temperatura etapa A: (23 ± 5)°C temperatura etapa B: (70 ± 1)°C	≤ 5%

	tiempo en cada etapa: (168±1)h	
DLT(3)5	carga: 80 kPa temperatura etapa A: (23±5)°C temperatura etapa B: (60±1)°C tiempo en cada etapa: (168±1)h	≤ 5%

ANAPE

1.7.2.5 *Resistencia a la Flexión.* Un adecuado nivel de esta propiedad asegura una buena cohesión del material y, por tanto, unas propiedades de absorción de agua. La norma armonizada exige que el nivel mínimo de esta propiedad sea de 50 kPa (para asegurar la manipulación) pero permite que se declaren otros niveles superiores, se suelen recomendar valores superiores a los 100 kPa:

Tabla 6. Resistencia a la Flexión

NIVEL	REQUISITO kPa
BS50	≥50
BS75	≥75
BS100	≥100
BS115	≥115
BS125	≥125
BS135	≥135
BS150	≥150
BS170	≥170
BS200	≥200
BS250	≥250
BS350	≥350
BS450	≥450
BS525	≥525
BS600	≥600
BS750	≥750

ANAPE

1.7.2.6 *Clasificación de reacción al fuego.* La reacción ante el fuego es la única propiedad en el campo de los productos de aislamiento térmico para los cuales la Unión Europea ha impuesto Euroclases. Los productos de poliestireno expandido desnudos obtiene una clasificación E o F. En la aplicación final de uso, el conjunto poliestireno expandido más revestimiento puede obtener Euroclases E, D, C o B. Por ejemplo, el EPS recubierto de una capa de yeso o de mortero de 2 cm de espesor obtiene la clasificación **B**.

1.7.3 Propiedades químicas.

Cuadro 2. Compatibilidad con otros productos

SUSTANCIA	SUSTANCIA	SUSTANCIA	SUSTANCIA
Agua	+ Ácidos débiles:	Ácidos débiles:	Acrilonitrilo -
Agua del mar	+ Ácido carbónico	+ Ácido carbónico	+ Cetonas -
Lejías:	Ácido cítrico	+ Ácido cítrico	+ Diluyentes para lacas -
Agua amoniacal	+ Ácido húmico	+ Ácido húmico	+ Dimetilformamida -
Agua de cal	+ Ácido láctico	+ Ácido láctico	+ Ester -
Lejías blanqueantes	+ Ácido tartárico	+ Ácido tartárico	+ Eter -
Potasa cáustica	+ Gases:	Gases:	Hidrocarburos halogenados -
Soluciones jabonosas	+ a) Inorgánicos:	a) Inorgánicos:	Tetrahidrofurano -
Sosa cáustica	+ Amoniaco	- Amoniaco	- Mat. Const. Inorgánicos:
Ácidos diluidos:	Bromo	- Bromo	- Anhídrita +
Ácido acético, 50%	+ Cloro	- Cloro	- Arena +
Ácido clorhídrico, 7%	+ Dióxido de azufre	- Dióxido de azufre	- Cal +
Ácido clorhídrico, 18%	+ b) Orgánicos:	b) Orgánicos:	- Cemento +
Ácido fluorhídrico, 4%	+ Butadieno	- Butadieno	- Yeso +
Ácido fluorhídrico, 40%	+ Butano	- Butano	- Mat. Const. Orgánicos:
Ácido fórmico, 50%	+ Buteno	- Buteno	- Bitumen +
Ácido fosfórico, 7%	+ Etano	+ Etano	+ Bitumen frío/masillas
Ácido fosfórico, 50%	+ Eteno	+ Eteno	+ base acuosa +
Ácido nítrico, 13%	+ Etino	+ Etino	+ Bitumen frío/masillas
Ácido nítrico, 50%	+ Gas natural	+ Gas natural	+ Base disolvente -
Ácido sulfúrico, 10%	+ Metano	+ Metano	+ Hidrocar. aromáticos:
Ácido sulfúrico, 50%	+ Óxido de propileno	- Óxido de propileno	- Benceno -
Ácidos concentrados:	Propano	+ Propano	+ Cumeno -
Ácido acético, 96%	- Propeno	+ Propeno	+ Estireno -
Ácido clorhídrico, 36%	+ Gases licuados:	Gases licuados:	Etilbenceno -
Ácido fórmico, 99%	+ a) Inorgánicos:	a) Inorgánicos:	Fenol, sol. Acu. 1% +
Ácido nítrico, 65%	+ Amoniaco	+ Amoniaco	+ Fenol, sol. Acu. 33% +
Ácido propiónico, 99%	- Dióxido de azufre	- Dióxido de azufre	- Tolueno -
Ácido sulfúrico, 98%	+ Gases nobles	+ Gases nobles	+ Xileno -
Ácidos fumantes:	Hidrógeno	+ Hidrógeno	+ Vapores de:
Ácido nítrico	- Nitrógeno	+ Nitrógeno	+ Alcanfor -
Ácido sulfúrico	- Oxígeno	+ Oxígeno	+ Naftalina -
Anhídridos:	b) Orgánicos:	b) Orgánicos:	
Anhídrico acético	- Butano	- Butano	
Dióxido de carbono, sólido	+ Buteno	- Buteno	
Trióxido de azufre	- Butadieno	- Butadieno	
	Etano	+ Etano	

+ Sin variación; ± Ligera variación; - Fuerte variación

ANAPE

1.7.4 *Propiedades biológicas.* El poliestireno expandido no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible, no enmohece y no se descompone.

No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos de EPS cumplen con las exigencias sanitarias y de seguridad e higiene establecidas, con lo que pueden utilizarse con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje destinados al contacto alimenticio.

El EPS no tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial no es peligroso para las aguas. Se pueden adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerados.

En cuanto al efecto de la temperatura, mantiene las dimensiones estables hasta los 85 °C. No se produce descomposición ni formación de gases nocivos.

1.7.5 Aplicaciones relacionadas con la eficiencia energética. Por su versatilidad y su amplia gama de propiedades, el EPS puede usarse en muchas aplicaciones relacionadas con la eficiencia energética. Aunque, aparentemente, sólo las planchas de aislamiento parecen ser una causa directa de ahorro energético, también las bovedillas, originariamente pensadas para el aligeramiento, aportan aislamiento en planta baja, en voladizos o locales de distinto uso. Del mismo modo, en ingeniería civil, el uso de poliestireno expandido reduce el empleo y transporte de otros materiales más pesados que consumen más energía.

1.8 Lanás minerales

Las Lanás Minerales Aislantes son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil.

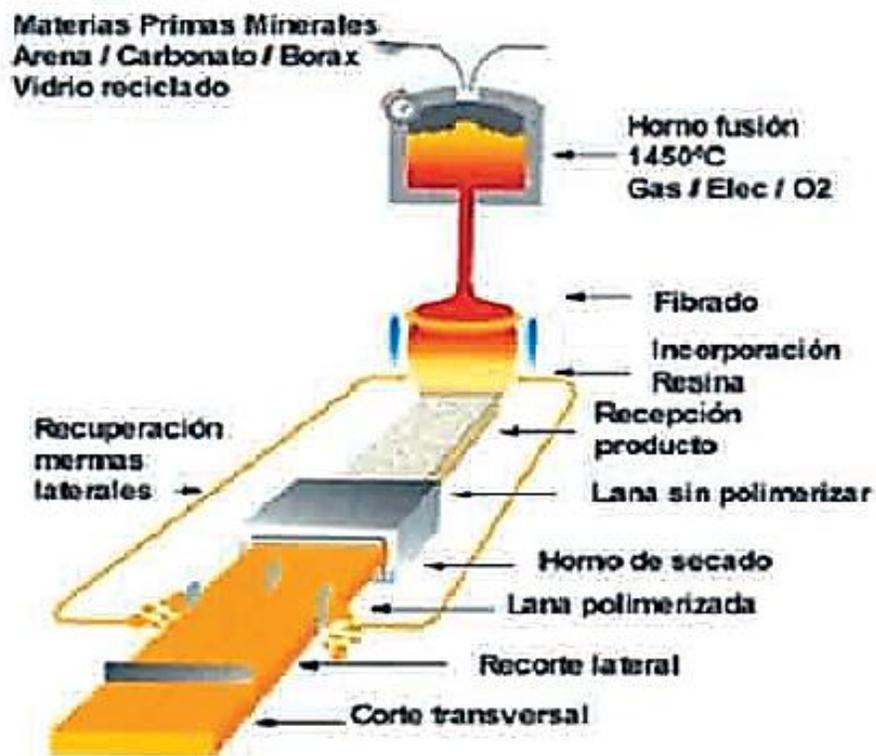
Esta estructura permite obtener productos muy ligeros que por su peculiar configuración, ofrecen elevados niveles de protección frente al calor, el ruido y el fuego.

Están reconocidas internacionalmente como aislantes acústicos, por su estructura flexible, y térmicos por el entrelazado que mantiene el aire inmóvil, siendo además, incombustibles, dado su origen inorgánico. Son productos naturales (arena silíceo para la lana de vidrio, roca basáltica para la lana de roca) transformados mediante el proceso de producción.

Como materiales de porosidad abierta (gracias a lo cual tienen buenas prestaciones térmicas y acústicas) pueden retener agua líquida en su interior, por lo que deben emplearse en aplicaciones que estén protegidas del contacto directo con el agua. Si accidentalmente la lana mineral se moja, las propiedades térmicas de la misma (poder aislante) se recuperarán hasta alcanzar los valores iniciales, si el agua no ha causado un daño evidente y se puede eliminar por evaporación o drenaje. En consecuencia, si por efecto del agua, la lana mineral no ha perdido su aspecto inicial, espesor, apelmazamiento, desgarrar una vez seca volverá a tener sus prestaciones aislantes iniciales.

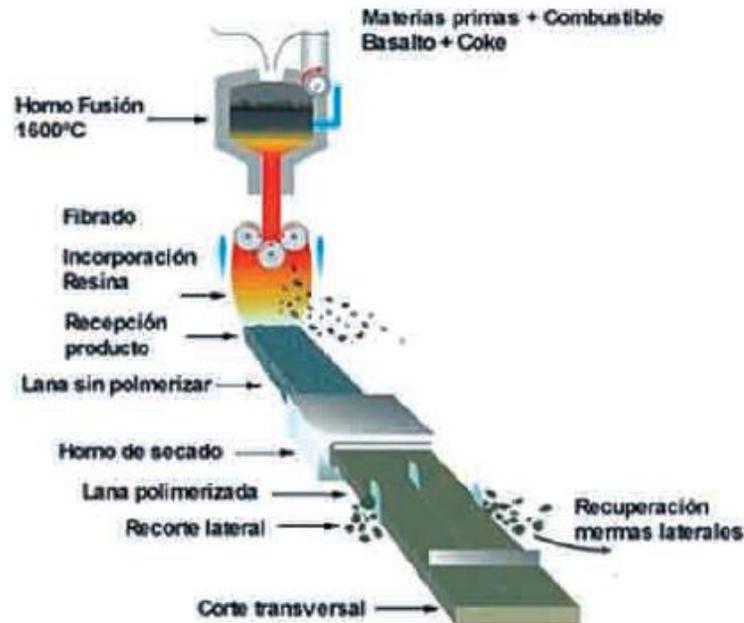
Dentro de las Lanás Minerales se distinguen dos familias: las Lanás de Vidrio y las Lanás de Roca, elaboradas fundiendo arena o rocas basálticas, respectivamente.

Figura 20. Proceso de fabricación de lana de vidrio



AFELMA

Figura 21. Proceso de fabricación de lana de rosa



AFELMA

1.8.1 *Aislamiento térmico.* La población actual pasa la mayor parte de su tiempo (85 %) en espacios cerrados, por lo que el confort térmico en ellos se ha convertido en una demanda esencial. Sin embargo, dicho confort requiere un consumo energético que, en la situación actual, es necesario reducir. En este contexto, las Lanasy Minerales constituyen el aislante ideal al permitir un alto grado de ahorro de energía, reduciendo el consumo energético al mínimo racionalmente posible y disminuyendo así el deterioro del medio ambiente.

En una época como la actual, la eficiencia energética es un valor incuestionable que las Lanasy Minerales, como aislante térmico, promueven, favoreciendo la conservación del medio ambiente y la reducción de la factura energética de los edificios.

El ahorro energético es relevante para cualquier país, pero para España es un objetivo prioritario por su alta dependencia energética.

1.8.2 *Aislamiento acústico.* La calidad de vida y la intimidad se reducen por la contaminación ambiental generada por el ruido, un problema creciente en las grandes

ciudades con repercusiones civiles y penales; las Lanás Minerales son un material imprescindible para el aislamiento acústico.

Las Lanás Minerales son el único aislante térmico que proporciona una ganancia de aislamiento acústico de los elementos constructivos a los que se incorpora, permitiendo reducciones del nivel sonoro de hasta 70 decibelios, gracias a su naturaleza elástica que disipa la energía de las ondas sonoras que penetran en ellas. Así, las Lanás Minerales impiden la transmisión de los ruidos aéreos y de impacto y de sus reverberaciones, aportando auténtico confort acústico.

1.8.3 Protección contra el fuego. Por su naturaleza inorgánica, las Lanás Minerales son incombustibles y presentan un alto grado de resistencia al paso del calor, incluso a elevadas temperaturas, disminuyendo los riesgos de incendios y contribuyendo a aumentar la protección de personas y bienes.

Las Lanás Minerales son incombustibles y al entrar en contacto con el fuego no generan ni gases ni humos asfixiantes o tóxicos, lo que facilita la evacuación de los ocupantes de un edificio. Además, por su poder aislante, forman una barrera que protege a los elementos constructivos, aumentando la resistencia al fuego de los mismos y contribuyendo a la seguridad pasiva del edificio.

La velocidad de propagación de un incendio depende de la cantidad de material combustible presente, de ahí la importancia de contar con materiales aislantes adecuados que incrementen la seguridad. La elección de un buen aislante es fundamental ya que está presente en un gran número de lugares de obra en cantidades muy elevadas. En este contexto, conviene tener en cuenta que la reacción frente al fuego varía en cada aislante, no sólo en lo relativo a la liberación de energía, sino también en lo que a emisiones de humos o formación de gotas se refiere.

Por todo ello, las Lanás Minerales son materiales que protegen al hombre, elevando su nivel de vida y respetando el medio ambiente.

1.8.4 Propiedades ambientales. El sector de las Lanás Minerales ha realizado, de acuerdo con los criterios y los procedimientos prescritos en las normas, los oportunos estudios para comprobar la influencia en el medio ambiente de sus industrias y productos.

En el caso concreto de las Lanas Minerales se pone en evidencia que una vez considerados los impactos debidos a su uso como aislante, el impacto resultante en todos y cada uno de los indicadores es beneficioso para el medio ambiente, es decir, es un impacto negativo según el Índice del Ciclo de Vida.

Conclusiones de los estudios de impacto ambiental de las lanas minerales:

- Existen procedimientos técnicos y rigurosos normalizados para ofrecer información sobre las características ambientales de los productos aislantes. La información que se obtiene es pormenorizada debido al carácter multifacético del medio ambiente, sin que pueda resumirse en un solo valor.
- La declaración ambiental proporciona información transparente y fiable al mercado. El sector de las Lanas Minerales dispone de los oportunos estudios para sus industrias y productos, de acuerdo con los criterios y los procedimientos prescritos en las normas.
- Los resultados de los estudios demuestran que el impacto de la fabricación y uso de Lanas minerales es muy beneficioso para la protección del medio ambiente.

1.8.5 *Calidad*. La elección de un buen aislante es, como ya se ha señalado, una cuestión fundamental debido a su presencia en numerosos lugares de la obra, a la cantidad de producto empleado en la misma y, sobre todo, a las diferencias de los productos existentes en el mercado.

Las Lanas Minerales para aplicaciones en la edificación cuentan con el Mercado CE, de obligado cumplimiento en toda Europa para los materiales aislantes térmicos.

1.9 Aislamientos y revestimiento interior

a) Todos los buses deben poseer, en el interior del techo, en las paredes laterales, frontal y posterior de la carrocería y en el compartimiento destinado al alojamiento del motor un sistema de aislamiento acústico y térmico de características de baja combustibilidad o retardadores de llama.

b) El nivel de ruido medido a una altura de 1,20 m sobre el nivel del piso del vehículo, en la posición del asiento del conductor, no podrá exceder.

b.1) Con el vehículo detenido y motor girando al mínimo de revoluciones por minuto (rpm): 75 dB.

b.2) Con el vehículo detenido y motor girando a 75 % del número máximo de revoluciones por minuto (rpm): 85 dB.

c) Ambas mediciones se efectuarán con todas las puertas y ventanas cerradas y con un nivel de ruido exterior inferior a 60 dB.

d) Con el motor funcionando a 75 % del número máximo de revoluciones por minuto (rpm) debe asegurarse un nivel máximo de ruido interior de 88 dB, a 1,20 m respecto del nivel del piso del pasillo de circulación interna, en cualquier punto de su extensión.

e) Inflamabilidad de los materiales. Los materiales de revestimiento de los asientos, las paredes, el techo y el piso a ser utilizados en el interior de los vehículos deben ser de baja combustibilidad o poseer la capacidad de retardar la propagación del fuego con un índice de llama máximo de 250 mm/min, de acuerdo con la norma ISO 3795

f) Temperatura en el compartimiento de los pasajeros. El bus debe contar con los sistemas necesarios para garantizar una temperatura de confort según las condiciones climáticas de cada ciudad en el compartimiento de los pasajeros, donde no sea superior a 28 °C.

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

2.1.2 *Localización.* La determinación de la eficiencia térmica del poliuretano se desarrolló en las instalaciones de la fábrica ESPROM PUR, ubicada en el Parque Industrial Ambato, perteneciente al cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

2.1.3 *Recopilación de la información.* Se inició con la identificación de los aislantes más utilizados en el ámbito automotriz y de construcción, para con esta información determinar los materiales que van a ser comparados, realizando la simulación en los calorímetros. Tomando en cuenta principalmente una relación costo-beneficio asumida en base a datos teóricos provistos por la bibliografía.

2.2 Metodología

2.2.1 *Métodos y técnicas*

2.2.1.1 *Métodos.* El método de este proyecto consiste en la organización racional y bien calculada de los recursos disponibles como son los calorímetros y los materiales aislantes, y de los procedimientos más adecuados para alcanzar determinado objetivo, es decir la determinación de la eficiencia térmica, de la manera más segura, económica y eficiente.

Mediante los métodos aplicados, podremos confirmar el planteamiento del proyecto de tesis, para lo cual manejaremos tres métodos: inductivo, deductivo y experimental

❖ **MÉTODO INDUCTIVO:** Se partió del estudio de los casos, hechos y fenómenos termodinámicos particulares para llegar a la determinación de la eficiencia térmica del

aislante. Este método nos permite esclarecer en un principio el problema que estamos abordando, mediante la: observación, experimentación, comparación, abstracción, generalización. Describiendo estos pasos para el problema en el proceso de aislamiento térmico con poliuretano proyectado, debemos observar el hecho e ir directo al problema que se genera en este proceso; examinamos el hecho, sus características; establecemos relaciones entre el problema y las actividades que lo generan; luego de conocidas las características del problema, se consideran aisladamente para establecer cuáles son las soluciones para tratarlas; concluimos, generalizando la hipótesis, reformándola o desechándola.

- ❖ DEDUCTIVO: Se presentaron los conceptos, principios, definiciones, leyes o normas generales, como son las leyes de termodinámica y transferencia de energía, de las que se extraen conclusiones o consecuencias en las cuales se aplican, o se examinan casos particulares sobre la base de las afirmaciones generales presentadas. Sigue los siguientes pasos: aplicación, comprensión, demostración.

- ❖ EXPERIMENTAL: Consiste en provocar voluntariamente una situación que se quiere estudiar, es decir que modifica o altera voluntariamente la realidad del presente. Para ellos controla todas las variables posibles, una de las cuales tiene que ser independiente para poder manejarla a voluntad a fin de comprobar el efecto que se quiere juzgar. En nuestro estudio de Determinación de la eficiencia del poliuretano proyectado como aislante térmico es necesaria la utilización de un calorímetro que nos permitió recolectar datos reales para indicar la eficiencia real del aislamiento. El método experimental es la aplicación más completa de la investigación, porque permite establecer con toda claridad el principio de la relación causa-efecto, cuyo enunciado es, “puesta la causa se da el efecto, retirada la causa no se da el efecto, alterada la causa se altera el efecto”.

2.2.1.2 *Técnicas*. Nos permitió recopilar la información necesaria y el cómo procesarla, es decir, es un medio auxiliar del cual nos valemos para alcanzar un objetivo. Para esto nos apoyamos en el análisis, síntesis y análisis de laboratorio.

- ❖ ANÁLISIS: Se basa de manera general del todo a las partes, donde se descompone en partes algo complejo; para el caso tuvimos que centrarnos en el problema de la eficiencia del aislante ir analizando mediante las pruebas necesarias los problemas que pueden alterar su eficiencia y determinar si los valores obtenidos en los análisis respectivos se encuentra dentro de la normas correspondiente al trabajo que va a ser realizado.
- ❖ SÍNTESIS: En contrariedad al análisis, la síntesis es el proceso mediante el cual se constituye el todo uniendo sus partes, facilitando la comprensión cabal del asunto que se estudia o analiza; la síntesis complementa el análisis. Identificando cada una de las partes del problema tendremos la causa que lo provoca.

2.2.1.3 *Pruebas en el simulador (calorímetro).* Para sustentar la investigación, se realizaron pruebas de laboratorio, determinando los parámetros necesarios para analizar cuáles son los constituyentes a remover. La Norma TÉCNICA ECUATORIA NTE INEN 2 511:2009. Primera Revisión. Eficiencia energética en cámaras de Refrigeración instaladas en vehículos Automotores. Requisitos establece los requisitos que debe cumplir el aislante para su aceptación. Mediante la investigación se determinara los parámetros que influyen en el rendimiento del aislante y se obtendrá la eficiencia real que el mismo proporciona.

2.2.1.3.1 *Procedimientos*

- *Instructivo del calorímetro*
 - a. Conectar a la luz de 110V todos los tomacorrientes
 - b. Colocar en la base del equipo el calorímetro con un aislante determinado
 - c. Colocar en posición los sensores de temperatura (externa e interna)
 - d. Encender el regulador de voltaje 1.
 - e. Encender el regulador de voltaje 2.
 - f. Ingresar el set point.

- *Determinación del coeficiente de enfriamiento (e)*

- Calentar agua a 80°C en un vaso de precipitación
- Poner el vaso dentro del calorímetro
- Colocar el sensor Pt-100 dentro del agua
- Realizar mediciones de temperatura interna (T int) cada 60 segundos hasta que la temperatura permanezca constante
- Tabular los datos

La velocidad de variación de la temperatura se puede expresar como el cociente entre variaciones pequeñas de temperatura (dT) y del tiempo (dt):

$$\frac{dT}{dt} = e (T_c - T_a) \quad \text{Ec. 2.2.1.3.1-1}$$

$T_c - T_a$ = diferencia de temperaturas entre la temperatura del calorímetro y la del ambiente,

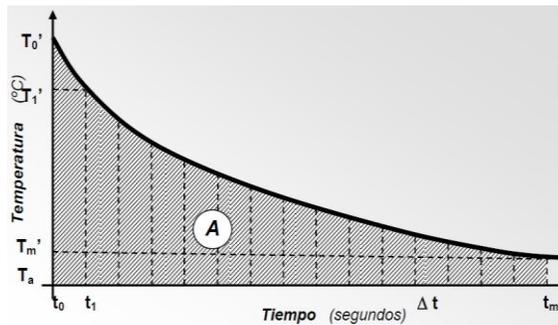
Si se grafican las lecturas realizadas como se muestra, se puede ver la variación de la temperatura en el tiempo. Comenzando por la temperatura T_o' en el instante inicial, se observa un rápido decaimiento hasta que se torna asintótica con la temperatura del medio T_a . Es suficiente con lograr que la curva se transforme en casi horizontal para terminar de hacer las lecturas. Considerando el área bajo la curva (A) puede notarse que multiplicándola por el coeficiente de enfriamiento, tendría que dar el salto de temperatura, lo que se puede aprovechar para calcular este coeficiente como:

$$e = \frac{(T_o' - T_m)}{A} \quad \text{Ec. 2.2.1.3.1-2}$$

$$\int_{T_o}^{T_m} dT = -e \int_{t_o}^{t_n} (T_c - T_a) dt \quad \int_{t_o}^{t_n} (T_c - T_a) dt = A$$

El área A se puede obtener en forma aproximada, dividiéndola en "m" trapecios, de altura $\Delta t = (t_i - t_{i-1})$

Figura 22. Determinación del coeficiente de enfriamiento e



Calorímetros

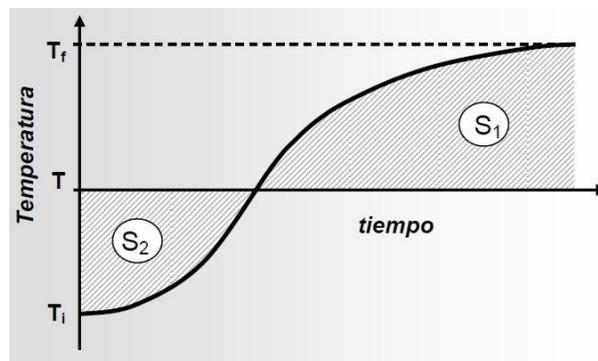
- *Determinación de la temperatura real (T_f^*)*
 - a. Colocar la niquelina en su posición sobre el calorímetro
 - b. Proceder a programar el set point a una temperatura determinada
 - c. Tomar lecturas de temperatura interna (Pt-100) cada 60 segundos
 - e. Tabular los datos

Como ningún calorímetro es perfecto, se debe pensar que una pérdida de calor se ha producido. Esta pérdida de calor del calorímetro con el ambiente, hace que la temperatura final leída T_f sea menor que la temperatura final ideal T_f^* ; es decir, la temperatura a que se hubiese llegado si el calorímetro fuese perfecto. La corrección de esta temperatura puede ser obtenida a través de la siguiente ecuación:

$$T_f^* = T_f + e (S_1 - S_2) = T_f + \Delta T \quad \text{Ec. 2.2.1.3.1-3}$$

Donde $A^* = (S_1 - S_2)$ y entonces $\Delta T = e \cdot A^*$

Figura 23. Determinación de la temperatura real



Calorímetros

Debe tenerse en cuenta que a veces no será necesario efectuar esta corrección. Todo depende de su valor en comparación con el error de apreciación del que se está usando. De allí, que conviene tener presente esta regla:

La corrección de temperatura final debe hacerse, sólo cuando el valor de ΔT es mayor que el error de apreciación del termómetro que se usó en el experimento.

- *Determinación de la eficiencia térmica*
 - a. Colocar los dos sensores
 - b. Proceder a programar el set point a una temperatura determinada
 - c. Tomar lecturas de temperatura interna (Pt-100) cada 60 segundos
 - e. Tabular los datos

$$E = \frac{T_s}{T_e}$$

Ec. 2.2.1.3.1-4

Dónde:

Ts = temperatura de salida

Te = temperatura de entrada

NOTA: Los procedimientos son iguales para todos los calorímetros

CAPITULO III
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 *Coefficiente de enfriamiento (e)*

3.1.1.1 *Calorímetro sin aislante*

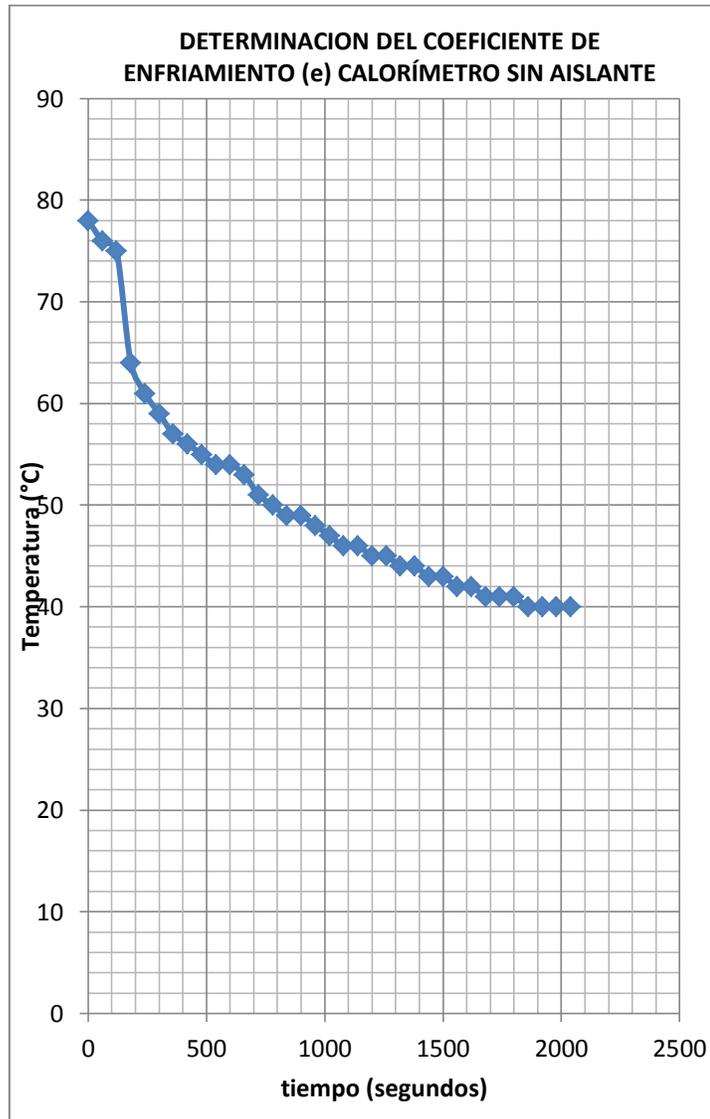
Tabla 7. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro sin aislante

t (seg)	T (°C)
0	78
60	76
120	75
180	64
240	61
300	59
360	57
420	56
480	55
540	54
600	54
660	53
720	51
780	50
840	49
900	49
960	48
1020	47
1080	46
1140	46
1200	45
1260	45
1320	44
1380	44

1440	43
1500	43
1560	42
1620	42
1680	41
1740	41
1800	41
1860	40
1920	40
1980	40
2040	40

Mauricio Proaño

Figura 24. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro sin aislante



Mauricio Proaño

$$e = \frac{(T_{o'} - T_m)}{A}$$

$$e_1 = \frac{(78^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})}{100825}$$

$$e_1 = 3,77E - 4$$

3.1.1.2 Calorímetro con lana de vidrio

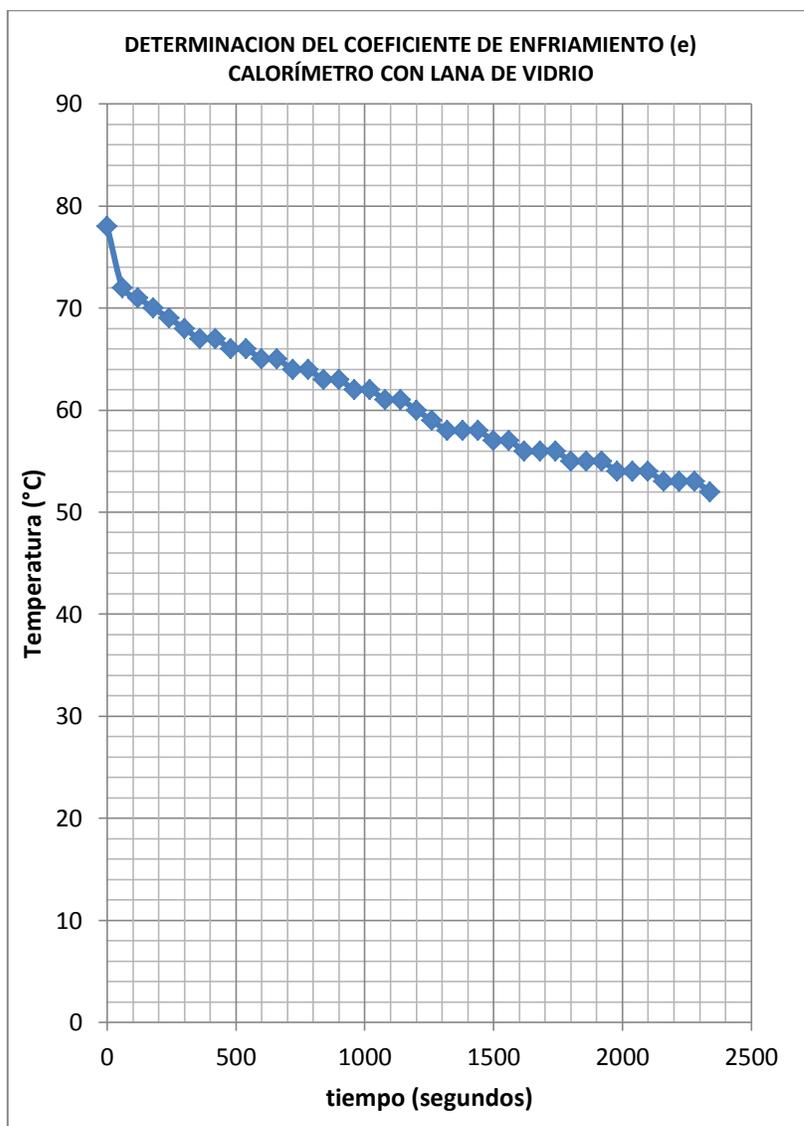
Tabla 8. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con lana de vidrio

t (seg)	T(°C)
0	78
60	72
120	71
180	70
240	69
300	68
360	67
420	67
480	66
540	66
600	65
660	65
720	64
780	64
840	63
900	63
960	62
1020	62
1080	61
1140	61
1200	60
1260	59
1320	58
1380	58
1440	58
1500	57
1560	57
1620	56
1680	56
1740	56
1800	55
1860	55
1920	55
1980	54
2040	54
2100	54

2160	53
2220	53
2280	53
2340	52

Mauricio Proaño

Figura 25. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con lana de vidrio



Mauricio Proaño

$$e_2 = 1,82E - 4$$

3.1.1.3 Calorímetro con poliuretano

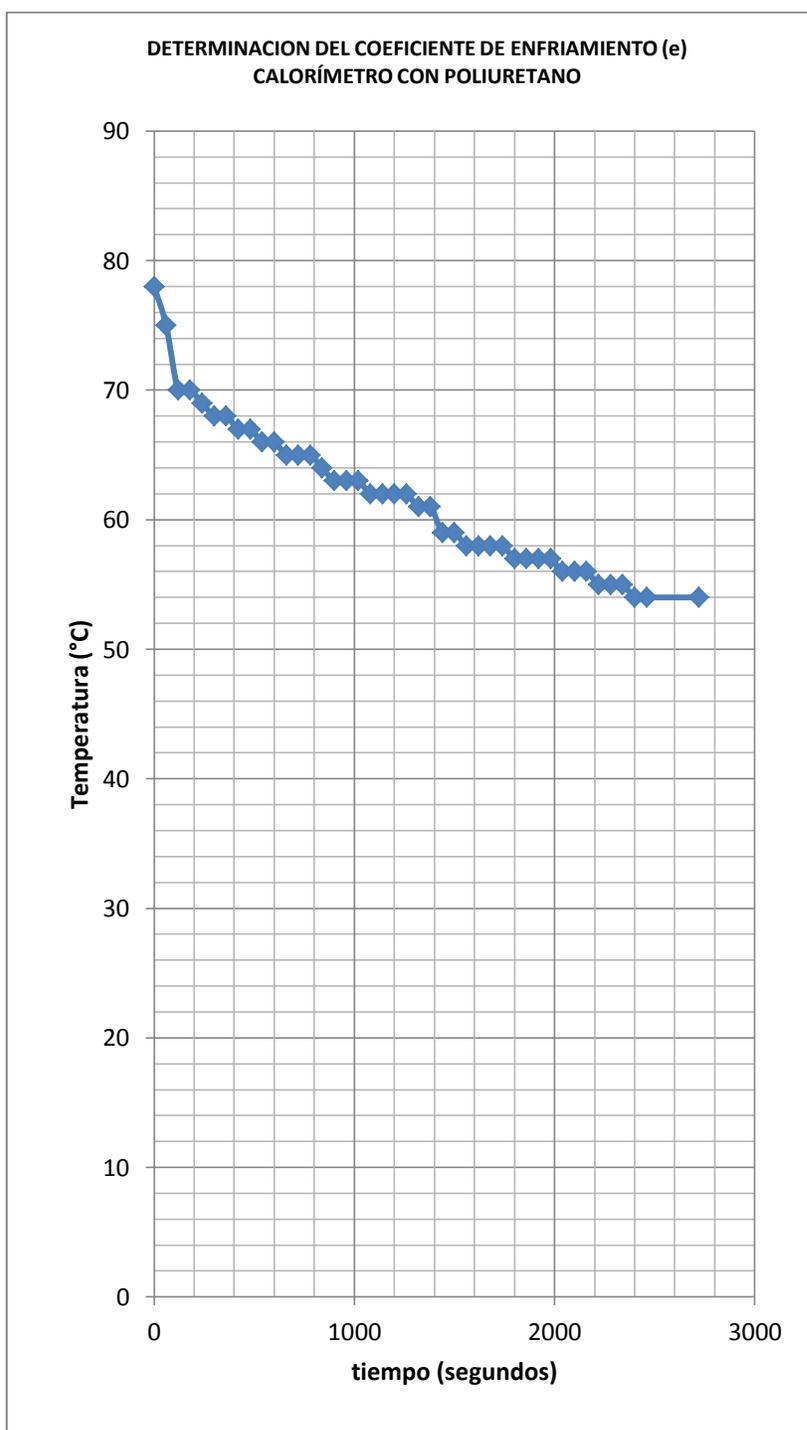
Tabla 9. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliuretano

t (seg)	T(°C)
0	78
60	75
120	70
180	70
240	69
300	68
360	68
420	67
480	67
540	66
600	66
660	65
720	65
780	65
840	64
900	63
960	63
1020	63
1080	62
1140	62
1200	62
1260	62
1320	61
1380	61
1440	59
1500	59
1560	58
1620	58
1680	58
1740	58
1800	57
1860	57
1920	57
1980	57
2040	56
2100	56

2160	56
2220	55
2280	55
2340	55
2400	54
2460	54
2720	54

Mauricio Proaño

Figura 26. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliuretano



Mauricio Proaño

$$e3 = 1,54E - 4$$

3.1.1.4 Calorímetro con poliestireno

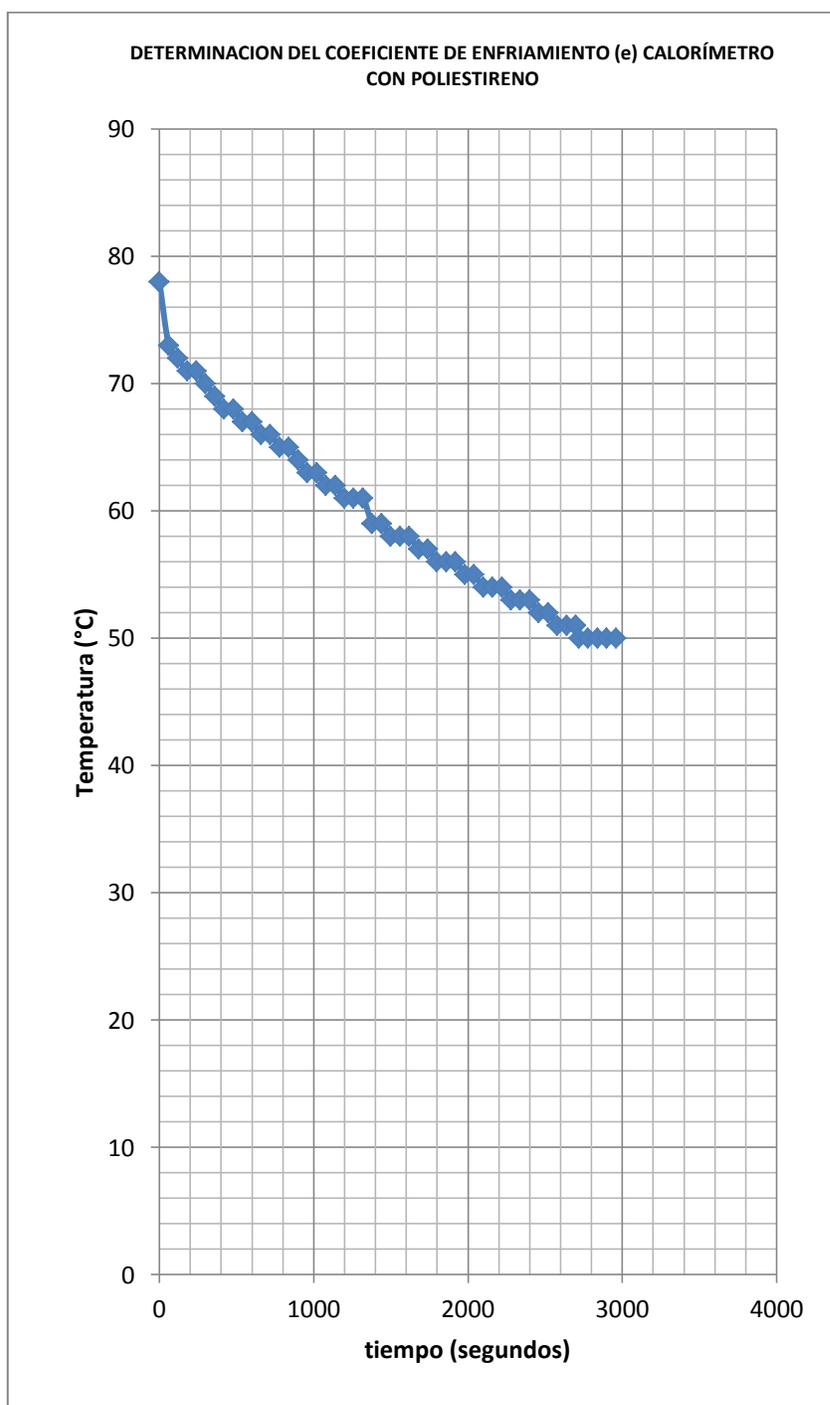
Tabla 10. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliestireno

t (seg)	T(°C)
0	78
60	73
120	72
180	71
240	71
300	70
360	69
420	68
480	68
540	67
600	67
660	66
720	66
780	65
840	65
900	64
960	63
1020	63
1080	62
1140	62
1200	61
1260	61
1320	61
1380	59
1440	59
1500	58
1560	58
1620	58
1680	57
1740	57
1800	56
1860	56
1920	56
1980	55
2040	55
2100	54

2160	54
2220	54
2280	53
2340	53
2400	53
2460	52
2520	52
2580	51
2640	51
2700	51
2700	51
2720	50
2780	50
2840	50
2900	50
2960	50

Mauricio Proaño

Figura 27. Determinación del coeficiente de enfriamiento (e) calorímetro con poliestireno



Mauricio Proaño

$$e4 = 1,71E - 4$$

3.1.2 Determinación de la temperatura real (T_f^*)

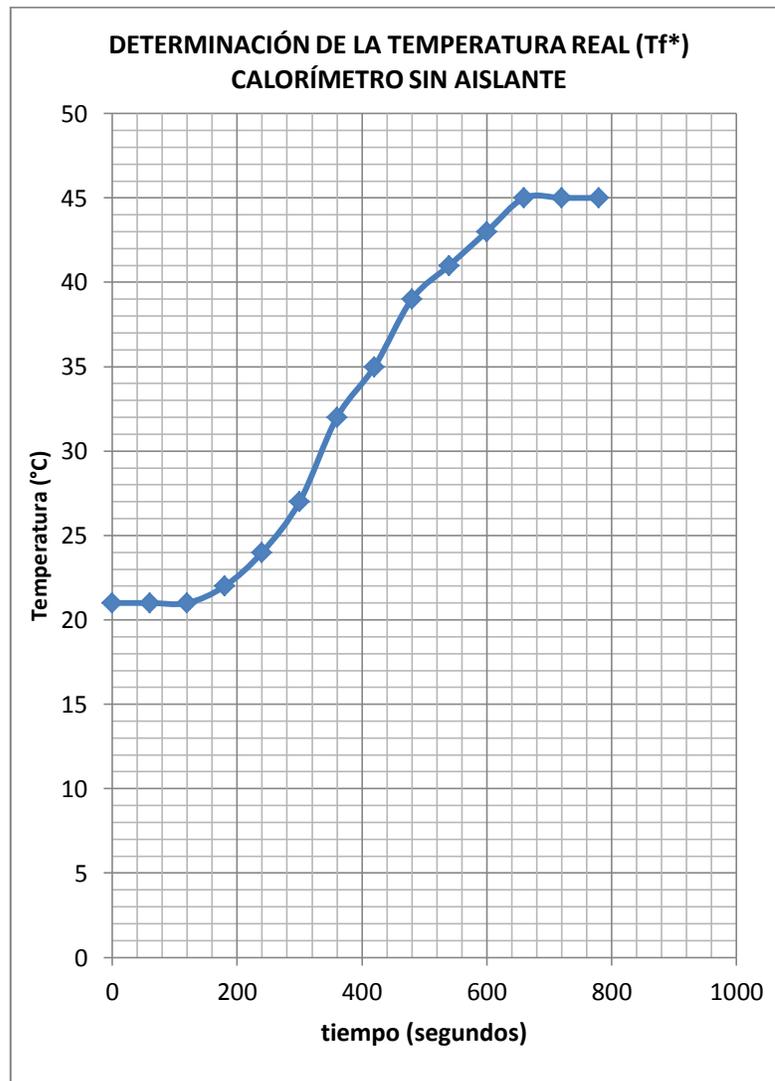
3.1.2.1 Calorímetro sin aislante

Tabla 11. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro sin aislante

t (seg)	T (°C)
0	21
60	21
120	21
180	22
240	24
300	27
360	32
420	35
480	39
540	41
600	43
660	45
720	45
780	45

Mauricio Proaño

Figura 28. Determinación de la temperatura real (Tf*) calorímetro sin aislante



Mauricio Proaño

$$Tf^* = Tf + e (S1 - S2)$$

$$Tf^* = 45^{\circ}C + 3,77E - 4 (20700 - 0)$$

$$Tf^*1 = 52,8^{\circ}C$$

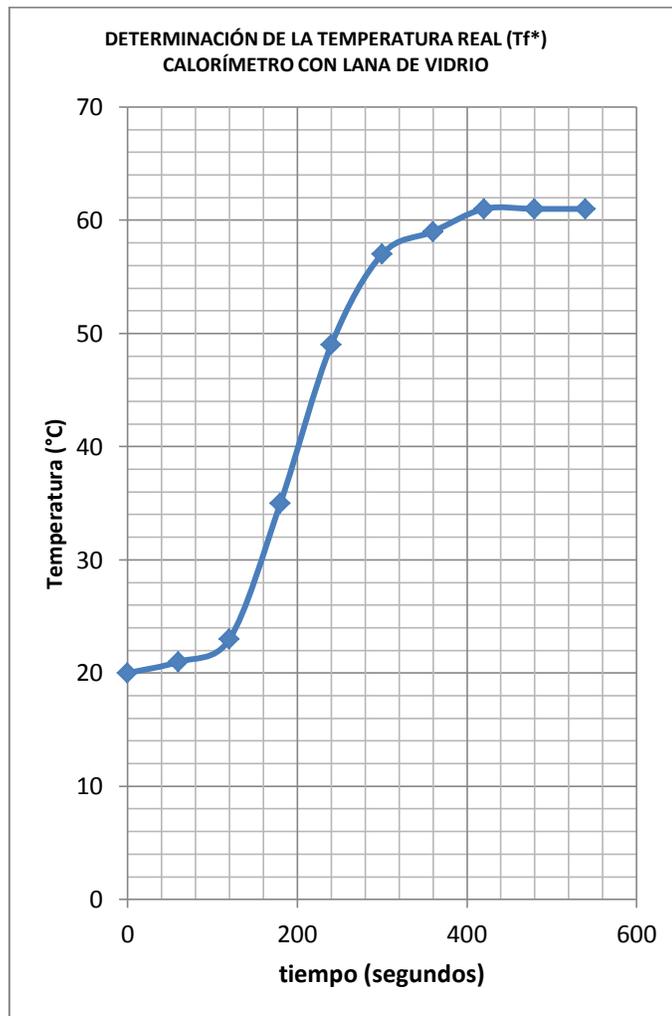
3.1.2.2 Calorímetro con lana de vidrio

Tabla 12. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con lana de vidrio

t (seg)	T(°C)
0	20
60	21
120	23
180	35
240	49
300	57
360	59
420	61
480	61
540	61

Mauricio Proaño

Figura 29. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con lana de vidrio



Mauricio Proaño

$$T_f^{*2} = 64,12^{\circ}C$$

3.1.2.3 Calorímetro con poliuretano

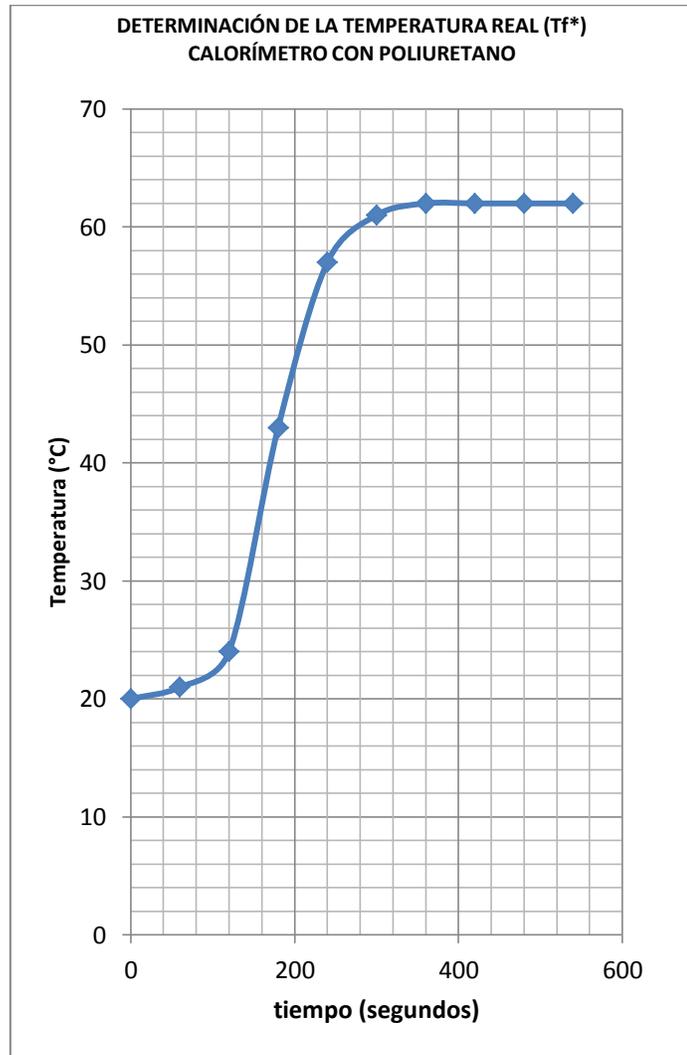
Tabla 13. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliuretano

t (seg)	T(°C)
0	20
60	21
120	24
180	43

240	57
300	61
360	62
420	62
480	62
540	62

Mauricio Proaño

Figura 30. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliuretano



Mauricio Proaño

$$T_f^* = 64,26^{\circ}\text{C}$$

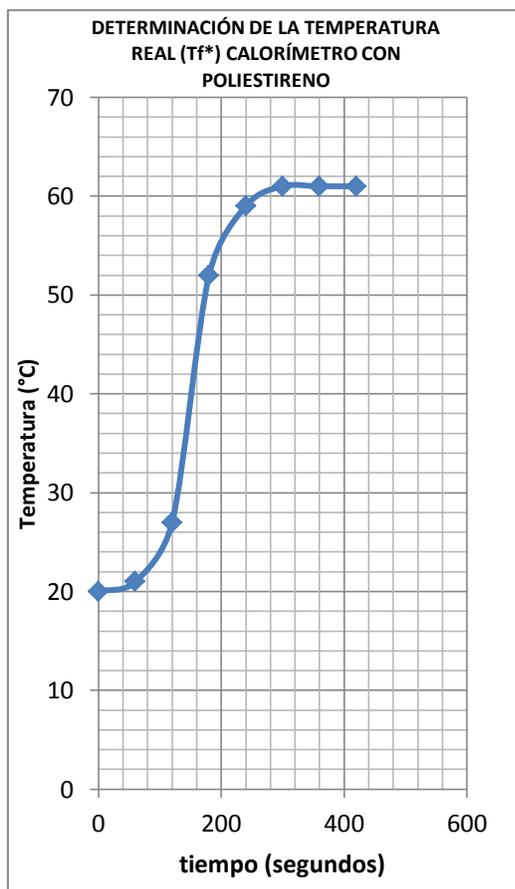
3.1.2.4 Calorímetro con poliestireno

Tabla 14. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliestireno

t (seg)	T(°C)
0	20
60	21
120	27
180	52
240	59
300	61
360	61
420	61

Mauricio Proaño

Figura 31. Determinación de la temperatura real (T_f^*) calorímetro con poliestireno



Mauricio Proaño

$$T_f^* = 62,95^\circ\text{C}$$

3.1.3 Determinación de la eficiencia térmica

3.1.3.1 Calorímetro sin aislante

$$E = \left(1 - \frac{T_s}{T_e}\right) \times 100$$

$$E1 = \left(1 - \frac{47}{52,8}\right) \times 100$$

$$E1 = 10,98\%$$

3.1.3.2 Calorímetro con lana de vidrio

$$E2 = 54,77\%$$

3.1.3.3 Calorímetro con poliuretano

$$E3 = 65,76\%$$

3.1.3.4 Calorímetro con poliestireno

$$E4 = 39,63\%$$

3.1.4 Determinación de la transferencia de calor por conducción

3.1.4.1 Calorímetro sin aislante

$$k = 1 \frac{W}{^{\circ}Km}$$

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{cond} = -1 \frac{W}{^{\circ}Km} (0,4m^2) \left(\frac{320^{\circ}K - 325,8^{\circ}K}{0,0254 m^2} \right)$$

$$Q_{cond1} = 91,34 \frac{W}{m}$$

.1.3.4.2 Calorímetro con lana de vidrio

$$k = 0,038 \frac{W}{^{\circ}Km}$$

$$Q_{cond2} = 21,02 \frac{W}{m}$$

3.1.4.3 Calorímetro con poliuretano

$$k = 0,026 \frac{W}{^{\circ}Km}$$

$$Q_{cond3} = 17,30 \frac{W}{m}$$

3.1.4.4 Calorímetro con poliestireno

$$k = 0,157 \frac{W}{^{\circ}Km}$$

$$Q_{cond4} = 61,69 \frac{W}{m}$$

3.1.5 Análisis costo-beneficio

3.1.5.1 Consumo de Watts

$$W = V * A$$

$$W = 12V * 2A$$

$$W = 24 \text{ Watts}$$

Valor energía eléctrica: \$ 8,24 $\frac{KW}{h}$ ¹¹

3.1.5.2 Tiempos de uso del calorímetro según su aislante

Tabla 15. Tiempos de uso del calorímetro según su aislante

N	 AISLANTE	T. Utilizado (h)	T. Consumo Eléctrico (h)
1	Lana de vidrio	0,65	0,43
2	Poliuretano	0,75	0,28
3	Poliestireno	0,57	0,48

Mauricio Proaño

3.1.5.3 Costo de los aislantes

Tabla 16. Costo de los aislantes

 AISLANTE	Costo m² (\$)
Lana de vidrio	12,52
Poliuretano	17
Poliestireno	9,79

Proformas

¹¹ Conelec.gob.ec

3.1.5.4 Consumo energía eléctrica (\$)

$$EE = w * h * 30días * \frac{1KW}{1000W} * 8,24 \$ * 24 meses$$

$$EE_1 = 24W * 0,43h * 30días * \frac{1KW}{1000W} * 8,24\$ * 24 meses$$

$$EE_1 = 61,2 \$$$

$$EE_2 = 39,84 \$$$

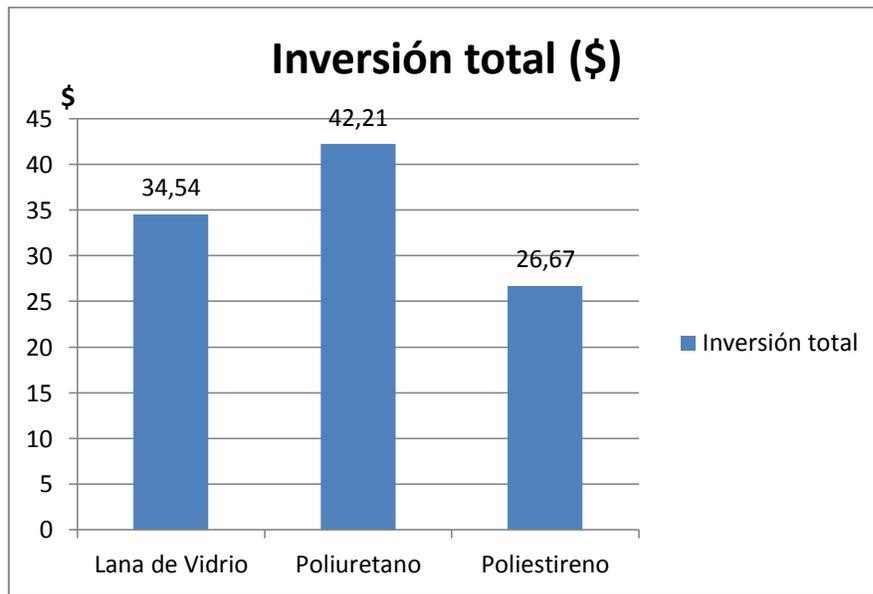
$$EE_3 = 68,16 \$$$

Tabla 17. Demostración costo-beneficio

DETALLE	LANA DE VIDRIO	POLIURETANO	POLIESTIRENO
Costo de aislante para 2,4m ² (\$)	30,05	40,8	23,5
Costo de instalación 2,4m ² (\$)	4,23	1,41	2,82
Costo Insumos Adicionales (Pegamentos)	0,26	0	0,35
Inversión total	34,54	42,21	26,67
Beneficio Energético durante 2 años (\$)	61,2	39,84	68,16

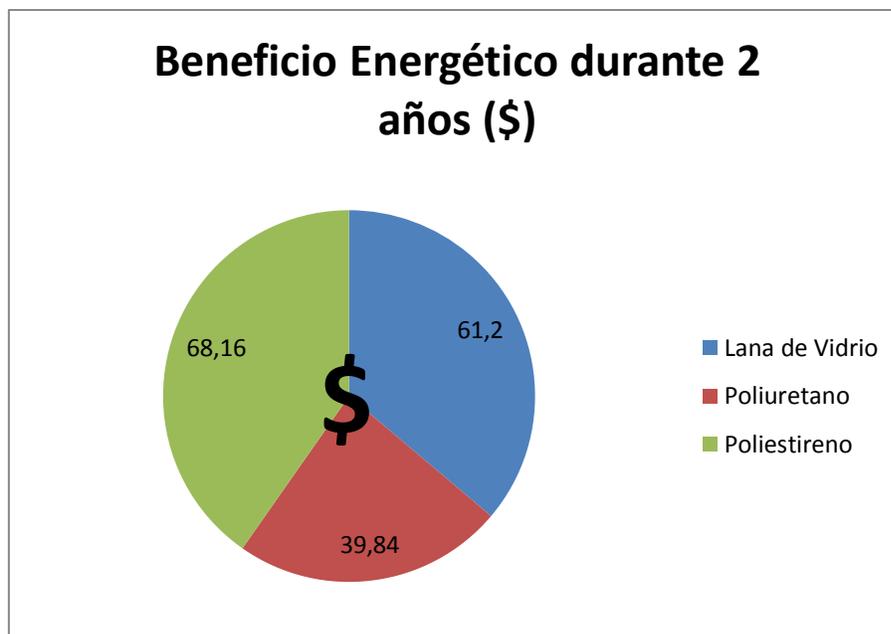
Mauricio Proaño

Figura 32. Inversión total (\$)



Mauricio Proaño

Figura 32. Inversión total (\$)



Mauricio Proaño

3.2 Discusión de resultados

- El poliuretano es uno de los aislantes más completos que se encuentran en el mercado, sin embargo el medio para el que está destinado lo considera muy costoso sin tomar en cuenta todos los beneficios que brinda el mismo, en la presente investigación se ha demostrado que el poliuretano es el aislante térmico más eficiente comparado con los demás aislantes utilizados en la industria frigorífica y automotriz. En esta investigación se ha utilizado un método experimental complementado con el uso de calorímetros que simularan las condiciones de trabajo de los aislantes; se ha implementado tecnología digital y de sensores térmicos los cuáles nos permiten reducir el error al calcular las eficiencias térmicas, así también se ha efectuado la correspondiente corrección de datos y calibración de los calorímetros para que los resultados sean lo más parecidos a la realidad, esta simulación presenta las mismas condiciones a las que está sometido el aislante en el campo de trabajo. La empresa ESPROM PUR aplica el poliuretano por un método de proyección a través de una máquina dosificadora la cual regula los caudales de material con un sistema neumático ligado a un PLC automático; la materia prima para el asilamiento es de procedencia Alemana, la misma tiene garantía de vida útil mas no cuenta con un estudio que pueda demostrar la eficiencia del material aislante, siendo esta la iniciativa para la presente investigación.
- El poliuretano tiene una eficiencia de 65,76%, la cual es la más alta en relación a la de la lana de vidrio cuya eficiencia es de 54,77% y la del poliestireno expandido que es de 39,63%; así también se ha demostrado que el calor transferido a través de las capas del poliuretano es 17,30 W/m, el cual es mucho menor comparado con los calores de transferencia de los otros materiales, la lana de vidrio permite pasar 21,02 W/m y el poliestireno expandido 61,69 W/m; es decir que de acuerdo a la ley de Fourier el poliuretano es el mejor aislante desde el punto de vista técnico.
- Otro punto muy importante es que el poliuretano siendo un aislante más costoso en el mercado, genera un beneficio económico mayor comparado con la lana de vidrio y el poliestireno expandido, pues su método de instalación evita la formación de puentes térmicos los cuales provocan pérdidas considerables de calor; el poliuretano puede

llegar a grietas y espacios recónditos aislándolos eficientemente y aumentando así su eficiencia.

- De acuerdo al reglamento RTE INEN 043:2010, en su numeral 4.2.12 exige el aislamiento térmico y acústico en las instalaciones del transporte público, debiendo ser aisladas las paredes, techo, laterales y el compartimento del motor, para garantizar el confort y la comodidad durante el período de transporte, el mismo reglamento exige que los materiales de revestimiento destinados al proceso de manufactura deben ser de baja combustibilidad o poseer la capacidad de retardar la propagación del fuego con un índice de llama de 250 mm/min; tomando en cuenta las características de los materiales el poliuretano es el único aislante, dentro del presupuesto de fabricación de vehículos, que cumple con este requisito, puesto que la lana de vidrio es un material muy inflamable y dispuesto a propagar la llama y el poliestireno expandido se desintegra cuando la temperatura supera los 85 °C.
- Adicionalmente analizamos los resultados del estudio costo/beneficio, los cuales son los mas destacados desde el punto de vista competitivo de la empresa, permitiéndonos estos resultados darnos cuenta que a pesar que la inversión inicial para realizar un aislamiento con poliuretano es mayor en comparación a los otros aislantes, el beneficio se ve reflejado en el ahorro energético que permito el material en un transcurso de dos años
- Finalmente se ha podido demostrar que las características del poliuretano desde el punto de vista técnico y económico son las más beneficiosas comparándolo con los otros dos aislantes más comunes en el mercado que son la lana de vidrio y el poliestireno expandido comúnmente conocido como espumaflex, de acuerdo a los resultados de la presente investigación la empresa ESPROM PUR puede garantizar al poliuretano como el aislante térmico más eficiente para ser utilizados en medios de transporte públicos y vehículos frigoríficos destinados al transporte de alimentos los cuales son exigidos a contar con aislamiento térmico de acuerdo a las normas y reglamentos INEN en nuestro país.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó la eficiencia térmica del poliuretano aplicado con un método de proyección, utilizado como aislante térmico, presentándose resultados positivos, que lo catalogan como el material aislante más recomendable dentro de su categoría.
- Los calorímetros fueron construidos a escala de laboratorio, y con los materiales que se utilizan en la industria automotriz, siendo los mismos expuestos a las condiciones de temperatura más cercanas a las cuales está predestinado a trabajar el aislante, además se aplicó las respectivas ecuaciones correctivas a cada calorímetro lo cual vuelve imperceptible el error generado.
- Se procedió a tomar mediciones de temperatura en el calorímetro utilizando una resistencia eléctrica para generar calor, estando cada uno de los calorímetros con un aislante diferente y además un calorímetro no presentaba aislamiento, siendo estos datos la base experimental de esta investigación, Cada calorímetro posee su propio valor de corrección debidamente calculado generando un error despreciable en los resultados
- Se determinó la eficiencia de cada uno de los materiales aislantes tabulando los datos y aplicando las respectivas ecuaciones se determinó que el aislante con mayor eficiencia es el poliuretano, siendo su eficiencia de 65,76%, corroborando este resultado con el obtenido a partir de la Ley de Fourier que indica que el poliuretano es el material que menos calor transfiere a través de las superficies, siendo el calor transferido 17.30 W/m

- El poliuretano es el material aislante más costoso debido a su proceso de aplicación, pero presenta una vida útil más larga que el poliestireno expandido y que la lana de vidrio, el poliuretano no necesita mantenimiento ni es afectado por la humedad o la intemperie, además puede aislar ambientes durante períodos de tiempo más largos lo cual permite un ahorro energético en los sistemas de calefacción y refrigeración de los vehículos, y para complementar la versatilidad de aplicación del material evita la formación de puentes térmicos los cuales son la causa fundamental del bajo rendimiento de los demás materiales aislantes.

4.2 Recomendaciones

- Socializar la presente investigación para mejorar las condiciones térmicas del transporte público de nuestro país así como el transporte de alimentos refrigerados.
- La aplicación del poliuretano proyectado debe cubrir exhaustivamente todas las superficies que puedan considerarse puentes térmicos.
- Indicar que el poliuretano es el aislante más eficiente que cumple con las normas y reglamentos exigidos por los organismos de control en nuestro país.
- Realizar la instalación de poliuretano proyectado con la maquinaria correspondiente para que la dosificación del polímero sea la adecuada, evitando así que el coeficiente de transferencia se altere.

BIBLIOGRAFÍA

AISLAMIENTO TÉRMICO CON POLIURETANO PROYECTADO// Concretotaline. 2005
http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=975#top
2014-07-25

ATEPA. ASOCIACIÓN TÉCNICA DEL POLIURETANO APLICADO// ATEPA. 2000
<http://www.atepa.org/>
2014-07-25

CENGEL Yunus., Termodinámica., 7a ed., Madrid – España., Mc Graw Hill., 2012., pp. 12 – 50.

CENGEL Yunus., Transferencia de calor y masa., 3a ed., Madrid – España., Mc Graw Hill., 2004., pp. 80 – 112.

GUÍA SOBRE MATERIALES AISLANTES Y EFICIENCIA ENERGETICA// FENERCON. 2002
<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>
2014-07-25

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 043:2010)., Bus interprovincial e intraprovincial., Quito - Ecuador., INEN., 2010., p. pp. 17.

MARGARIDA, Manuel., Aislamiento térmico. Aplicaciones en la edificación y la industria. Economía de energía. 5a ed., Barcelona - España., editorial 1983., editorial Técnicos Asociados., pp. 24 – 83

ANEXO A

RTE INEN 043:2010

4.2.11.6 Se prohíbe la instalación de parrillas superiores externas a la carrocería.

4.2.11.7 Bolsas de aire. De acuerdo al Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034.

4.2.12 Aislamientos y revestimiento interior

- a) Todos los buses deben poseer, en el interior del techo, en las paredes laterales, frontal y posterior de la carrocería y en el compartimiento destinado al alojamiento del motor un sistema de aislamiento acústico y térmico de características de baja combustibilidad o retardadores de llama.
- b) El nivel de ruido medido a una altura de 1,20 m sobre el nivel del piso del vehículo, en la posición del asiento del conductor, no podrá exceder.
 - b.1) Con el vehículo detenido y motor girando al mínimo de revoluciones por minuto (rpm): 75 dB (A);
 - b.2) Con el vehículo detenido y motor girando a 75 % del número máximo de revoluciones por minuto (rpm): 85 dB (A);
- c) Ambas mediciones se efectuarán con todas las puertas y ventanas cerradas y con un nivel de ruido exterior inferior a 60 dB (A).
- d) Con el motor funcionando a 75 % del número máximo de revoluciones por minuto (rpm) debe asegurarse un nivel máximo de ruido interior de 85 dB (A), a 1,20 m respecto del nivel del piso del pasillo de circulación interna, en cualquier punto de su extensión.
- e) *Infiamabilidad de los materiales.* Los materiales de revestimiento de los asientos, las paredes, el techo y el piso a ser utilizados en el interior de los vehículos deben ser de baja combustibilidad o poseer la capacidad de retardar la propagación del fuego con un índice de llama máximo de 250 mm/min, de acuerdo con la norma ISO 3795 (ver nota 1).
- f) *Temperatura en el compartimiento de los pasajeros.* El bus debe contar con los sistemas necesarios para garantizar una temperatura de confort según las condiciones climáticas de cada ciudad en el compartimiento de los pasajeros, donde no sea superior a 28 °C.

5. ENSAYOS PARA EVALUAR LA CONFORMIDAD

5.1 Los métodos de ensayo para evaluar la conformidad de los requisitos del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, según corresponda, deben ser los especificados en las Normas Técnicas Ecuatorianas INEN vigentes, o en las normas o directivas equivalentes que le sean aplicables, ya sean de la Comunidad Económica Europea (ECE), o las Normas Federales de Seguridad de Vehículos Automotores, FMVSS de los Estados Unidos de Norteamérica o las Normas Industriales Japonesas, JIS.

5.2 Ensayo de aceleración en plano.

5.2.1 *Principio.* Determinar la capacidad de aceleración del bus Interprovincial e Intraprovincial.

5.2.2 *Equipo de ensayo.* Equipo de adquisición de datos con sensores de velocidad, distancia, tiempo y aceleración (quinta rueda manual, quinta rueda óptica, por ejemplo) instalado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de este instrumento.

5.2.3 *Vehículo de ensayo.* Se debe contar con un vehículo completamente equipado de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

ANEXO B
AISLAMIENTO TÉRMICO I



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
AISLAMIENTO TÉRMICO CON POLIURETANO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA	AISLAMIENTO TÉRMICO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1		

ANEXO C
AISLAMIENTO TÉRMICO II



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	AISLAMIENTO TÉRMICO		
AISLAMIENTO TÉRMICO CON POLIURETANO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2		

**ANEXO D
CALORÍMETRO**

SENSORES

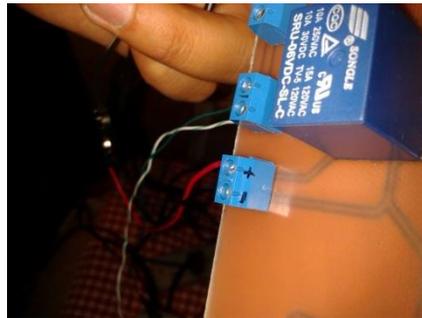


PANTALLA

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
EQUIPAMIENTO DEL CALORÍMETRO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA	CALORÍMETRO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3		

ANEXO E
ENSAMBLAJE DE CALORÍMETRO

RELAY

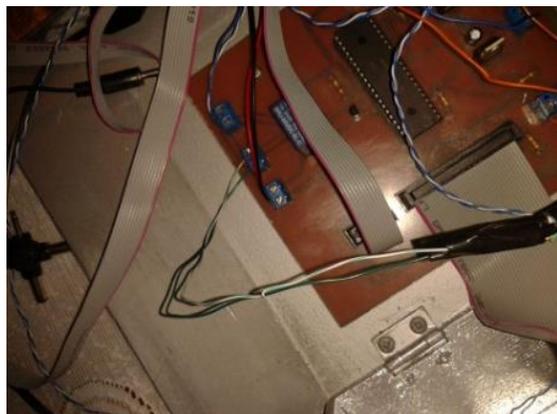


PIC PROGRAMABLE

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CALORÍMETRO		
EQUIPAMIENTO DEL CALORÍMETRO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4		

ANEXO F
ENSAMBLAJE DE CALORÍMETRO

BUSES DE INFORMACION



CALORIMETRO
EQUIPADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CALORÍMETRO		
EQUIPAMIENTO DEL CALORÍMETRO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5		

ANEXO G PROFORMAS

PROFORMA SIKA



Guayaquil, 23 de Septiembre de 2014

Estimado
Sr. Mauricio Proaño
Presente

En respuesta a su solicitud de precios referente a nuestros artículos le indico que al momento no dispones de lana de vidrio y se podría hacer llegar en un lapso de 2 semanas, con respecto al poli estireno expandido ese si lo tenemos en stock.

Los precios correspondientes son:

	COD
• POLIESTIRENO EXPANDIDO	\$9.79 PE1235H
• LANA DE VIDRIO	\$12.52 FV3525J

Muy gustosos de poder ayudarle estamos a las órdenes

Atentamente
Ing. Jaime Betancourt
Departamento de ventas



**Expertos y Tecnología
de las Grandes Obras
a su Alcance**

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CALORÍMETRO		
PROFORMA SIKA	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			6		

ANEXO H PROFORMAS

PROFORMA ESPROM

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CALORÍMETRO		
PROFORMA ESPROM	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA HÉCTOR MAURICIO PROAÑO QUEZADA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			7		

