

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Análisis del Espesor de Aislante utilizado para Buses Interprovinciales que circulan en

las Frecuencias Riobamba-Quito y Riobamba-Cuenca

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas

Nota del autor

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, M.Sc.

Codirector Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
enaranjo.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Eugenia Mercedes Naranjo Vargas con cédula de ciudadanía 060411355-5 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
C.I.: 060411355-5

INDICE

JUSTIFICACIÓN.....	1
INTRODUCCIÓN (ESTUDIO DEL ARTE)	2
OBJETIVOS:	5
GENERAL	5
ESPECÍFICOS	5
MARCO TEÓRICO.....	6
Bus.....	6
Tipos de buses	6
Carrocería	8
Geometría de carrocería	8
Chasis	9
Ventanas	9
Calidad del transporte público.....	9
Parámetros térmicos	10
Calor.....	10
Calor específico (Cp).	10
Conductividad térmica (k).....	10
Temperatura del aire.....	11
Temperaturas extremas.	11
Humedad atmosférica.....	11
Tensión de vapor.	11
Humedad relativa.	11
Temperatura del punto de rocío.	11
Densidad	12
Inercia térmica.....	12
Transferencia de calor	12
Conducción.....	13
Resistencias térmicas ubicadas en serie y paralelo	14
Convenio del signo.....	15
Resistencia Térmica	16

Coeficiente global de transferencia de calor	16
Transferencia de calor en la ingeniería	16
Aislamiento térmico	17
Espuma de poliuretano.....	17
Poliestireno expandido.....	18
Inflamabilidad de los materiales	18
Confort térmico	19
Calentamiento.....	20
Enfriamiento.....	20
Zonas Climáticas del Ecuador.....	21
Sistemas asistidos por computadora.....	22
MÉTODO.....	23
Métodos de investigación.....	23
Metodología	24
Evaluación del gradiente de temperatura	25
Composición de la carrocería.....	26
Epidermis del autobús	26
Pared.....	27
Techo.....	30
Ventanas:.....	31
Diseño del prototipo a simular	32
Cálculos de transferencia de calor.....	32
Equipo de medición.....	33
Termo Higrómetro Digital con Sonda.....	33
Simulación de transferencia de calor	34
RESULTADOS.....	36
Propiedades de la espuma de poliuretano	36
Propiedades del poliestireno expandido.....	36
Determinación del flujo de calor.....	48
Flujo de calor con espuma de poliuretano.....	48
Pared lateral.....	48
Pared posterior.....	52

Pared frontal	54
Techo	55
Flujo de calor a temperatura ideal de confort.....	56
Determinación de espesor de aislante	56
Espesor pared lateral	57
Espesor pared posterior	59
Pared frontal	60
Techo	61
Flujo de calor con poliestireno expandido	62
Pared lateral.....	62
Pared posterior.....	63
Pared frontal	63
Techo	64
Recalculo de flujo de calor con nuevos espesores de aislante	65
Recalculo de flujo de calor para espuma de poliuretano.....	65
Pared lateral.....	65
Pared posterior.....	66
Pared frontal	66
Techo	67
Recalculo de flujo de calor poliestireno expandido	67
Pared lateral.....	67
Pared posterior.....	68
Pared frontal	68
Techo	69
Potencia Calorífica	70
Consumo de combustible	70
Simulación térmica del bus	70
Modelado de bus	71
Simulación térmica del modelo.....	71
Simulación para poliestireno expandido con espesor de 40 mm	72
Simulación para poliestireno expandido con espesor de 50 mm	77
Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 45 mm.....	78
Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 55 mm.....	79
Visualización directa de aplicación de aislante térmico en carrocerías	79
Aplicación de la espuma de poliuretano en la carrocería.....	79

Aplicación poliestireno expandido en la carrocería	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
Consumo de combustible con espuma de poliuretano	86
Consumo de combustible con poliestireno expandido	87
Tiempo de encendido del equipo calefactor con poliestireno expandido	88
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	92
ANEXOS.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bus	6
Figura 2. Clasificación vehicular	7
Figura 3. Bus interprovincial.....	7
Figura 4. Chasis para bus	9
Figura 5 Conducción de calor	10
Figura 6. Conducción de calor unidimensional en estado estacionario.	14
Figura 7. Red de transferencia de calor para disposición combinada en serie y paralelo	15
Figura 8. Signo de la transferencia de calor por conducción	15
Figura 9. Espuma de poliuretano	17
Figura 10. Poliestireno expandido.....	18
Figura 11. Rangos de confort	20
Figura 12 Temperatura media, dato adquirido	21
Figura 13. Frecuencia Riobamba Quito	24
Figura 14 Frecuencia Riobamba Cuenca	25
Figura 15. Parte exterior de la pared de la carrocería.....	27
Figura 16. Parte interior de la carrocería.....	28
Figura 17. Parte interior forrada con la capa de fibra de vidrio	28
Figura 18. Parte posterior de la carrocería	29
Figura 19. Parte posterior colocado la pared de fibra	29
Figura 20. Pared posterior de la carrocería sin pintura.	30
Figura 21. Techo en fibra de vidrio	30
Figura 22. Techo colocado en la carrocería	31
Figura 23. Marcos para las ventanas	31
Figura 24. Ventanas buses interprovinciales.....	32
Figura 25. Termo higrómetro digital.....	34
Figura 26. Frecuencia de viaje	38
Figura 27. Ciudades analizadas.....	38
Figura 28. Horario de viaje	39
Figura 29. Resultado sensación térmica	39
Figura 30. Cooperativas de transporte interprovincial.....	40
Figura 31. Uso de calefacción en unidades	41
Figura 32. Seccionamiento del bus para cálculo térmico.....	48
Figura 33. Pared lateral composición.....	49
Figura 34. Circuito térmico lateral	49
Figura 35. Resistencias en paralelo pared lateral	49
Figura 36. Pared posterior composición.....	52
Figura 37. Circuito de resistencias pared posterior	53
Figura 38. Pared frontal composición	54
Figura 39. Techo composición.....	55
Figura 40. Circuito térmico techo	55
Figura 41. Pared lateral análisis de temperaturas.....	57
Figura 42. Pared posterior análisis de temperaturas.....	59
Figura 43. Pared frontal análisis de temperaturas	60
Figura 44. Techo análisis de temperaturas	61
Figura 45. Modelado del bus.....	71

Figura 46. Modelo parte con aislante térmico.....	71
Figura 47. Opción para análisis térmico	73
Figura 48. Propiedades de la espuma de poliuretano y del vidrio	73
Figura 49. Conexión ente las propiedades del material con Transient Thermal.....	74
Figura 50. Tiempo de simulación.....	74
Figura 51. Flujo térmico en el interior del bus	75
Figura 52. Asignación valores de temperaturas.	75
Figura 53. Temperatura asignada en el interior del bus	75
Figura 54. Selección de mallado mediante Jacobian Ratio.....	76
Figura 55. Bus mallado	76
Figura 56. Analisis de transferencia de calor con poliestireno expandido a 40 mm.....	77
Figura 57. Simulacion con poliuretano expandido con 50 mm.	77
Figura 58. Propiedades de la espuma de poliuretano en el software Ansys student free.....	78
Figura 59. Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 45 mm.	78
Figura 60. Análisis para espuma de poliuretano con 55 mm.	79
Figura 61. Aplicación de espuma de poliuretano en el techo	80
Figura 62. Espuma de poliuretano en el techo	80
Figura 63. Espuma de poliuretano pared lateral	80
Figura 64. Espuma de poliuretano pared posterior	81
Figura 65. Recubrimiento de carrocería con capa de fibra	81
Figura 66. Espuma de poliuretano después de 8 años.....	82
Figura 67. Pared lateral antes de aplicar poliestireno expandido.....	82
Figura 68. Pared lateral aplicado poliestireno expandido	83
Figura 69. Poliestireno expandido después de 8 años.....	83
Figura 70. Poliestireno expandido después de 8 años.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones exteriores de la carrocería.....	8
Tabla 2. Dimensiones internas de la carrocería.....	8
Tabla 3. Especificaciones técnicas Espuma de poliuretano	17
Tabla 4. Propiedades técnicas de poliestireno expandido	18
Tabla 5. Medidas de carrocería	26
Tabla 6. Capas de la pared.....	27
Tabla 7. Capas pared posterior	28
Tabla 8. Capas del techo de la carrocería	30
Tabla 9. Adquisición de datos Riobamba-Quito	42
Tabla 10. Adquisición de datos Quito-Riobamba	43
Tabla 11. Resumen de medición de temperaturas Riobamba-Quito.	44
Tabla 12. Promedio total de temperaturas Riobamba-Quito y viceversa.....	45
Tabla 13. Datos temperaturas Riobamba-Cuenca	45
Tabla 14. Resumen de medición de temperaturas Riobamba-Cuenca.	46
Tabla 15. Promedio de temperaturas Riobamba-Cuenca	47
Tabla 16. Valor promedio de temperaturas mínimas	47
Tabla 17. Resistencias térmicas lateral del bus	51
Tabla 18. Resistencias pared posterior	53
Tabla 19. Resistencias parte frontal	54
Tabla 20. Resistencia térmica techo	55
Tabla 21. Flujo de calor total.....	56
Tabla 22. Temperaturas pared lateral	57
Tabla 23. Temperaturas pared frontal	59
Tabla 24. Temperaturas pared frontal	60

Tabla 25. Techo temperaturas	61
Tabla 26. Promedio espesor	61
Tabla 27. Resistencias térmicas para pared lateral.....	62
Tabla 28. Temperaturas y espesor de pared lateral poliestireno expandido.....	63
Tabla 29. Resistencias pared posterior poliestireno expandido	63
Tabla 30. Temperaturas y espesor pared posterior con poliestireno expandido	63
Tabla 31. Valores de resistencias térmicas para pared frontal.	64
Tabla 32. Temperaturas y espesor pared frontal con poliestireno expandido	64
Tabla 33. Valores totales para techo con poliestireno expandido	64
Tabla 34. Promedio espesor poliestireno expandido.....	65
Tabla 35. Flujo de calor con espesor de 55 mm, espuma de poliuretano.....	65
Tabla 36. Resistencia térmica, flujo de calor, pared posterior con espuma de poliuretano	66
Tabla 37 . Resistencias térmicas, flujo de calor pared frontal con espuma de poliuretano.....	66
Tabla 38. Resistencia térmica. flujo de calor Techo	67
Tabla 39. Flujo de calor total.....	67
Tabla 40. Calor y espesor de aislante pared lateral con poliestireno expandido.....	68
Tabla 41. Resistencia térmica, flujo de calor para pared posterior	68
Tabla 42. Resistencia térmica, flujo de calor pared frontal.....	69
Tabla 43. Resistencia térmica, flujo de calor para Techo	69
Tabla 44. Sumatorio total de flujo de calor techo	69
Tabla 45. Valor económico para la espuma de poliuretano	87
Tabla 46. Consumo de combustible con poliestireno expandido.....	87
Tabla 47. Tiempo de encendido Riobamba-Quito	88
Tabla 48. Tiempo de disipación de temperaturas.....	89

LISTA DE ECUACIONES

NOMBRE	ECUACION	UNIDADES
Densidad	$\rho = \frac{m}{v}$	kg/m^3
Ley de Fourier	$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dX}$	W
Ley de Fourier placas planas	$q_k = \frac{T1 - T4}{\frac{L_A}{K_A A} + \frac{L_B}{K_B A} + \frac{L_C}{K_C A}}$	W
Resistencia térmica	$R_t = \frac{e}{k * A}$	$\frac{^{\circ}K}{W}$
Coeficiente global de Transferencia de calor	$U = \frac{1}{Rt * A}$	$\frac{W}{m^2 * K}$
Promedio	$Promedio = \frac{\sum mediciones}{número de mediciones}$	$\%$
Error Absoluto	$e = Valor calculado - Valor simulado $	$\%$

LISTA DE SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA

SIGNO	NOMENCLATURA	UNIDAD
ρ	<i>Densidad</i>	kg/m^3
m	<i>Masa</i>	(kg)
v	<i>Volumen</i>	m^3
k	<i>Conductividad térmica</i>	$\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \right)$
A	<i>Área transversal normal al flujo de calor</i>	$m^2 (ft^2)$
q	<i>Flujo de calor</i>	KJ
T	<i>Temperatura</i>	$^\circ C (^\circ F) (K)$
e	<i>Espesor</i>	(mm)
A	Espacio a calentar	(mm)
B	Orientación	(mm)
C	Aislamiento	(mm)

TÍTULO

Análisis del Espesor de Aislante utilizado para Buses Interprovinciales que circulan en las Frecuencias Riobamba-Quito y Riobamba-Cuenca

RESUMEN

El presente estudio de investigación se enfoca en mejorar el confort interno de los pasajeros, determinando un espesor adecuado de aislante térmico. En Ecuador son muchas las industrias carroceras que se dedican a la elaboración de autobuses, en el mercado se manejan dos tipos de aislantes térmicos el uno es el poliestireno expandido y la espuma de poliuretano inyectado en frío. Para poder determinar los cálculos; se empezó con una medición directa de temperaturas durante 6 meses; tanto internas como externas; para lo que se estableció rutas dentro de la región interandina como es la ruta de Riobamba a Quito y de Riobamba a Cuenca; los valores de temperaturas mínimas promedio fueron de 7°C en la parte externa y de 14°C para la parte de los pasajeros. Se diseñó una carrocería con medidas establecidas bajo norma INEN 1323, el cual se modeló en software NX, además para el análisis de transferencia de calor se estimaron todas las propiedades térmicas de los materiales que influyen en el análisis, los valores de espesores medidos fueron de 40 mm para el poliestireno expandido y de 45 mm para la espuma de poliuretano con esta información se puede empezar el análisis por conducción mediante la combinación de paredes compuestas ubicadas en serie y paralelo, calculando valores de resistencia térmica, flujo de calor; con la ecuación de Fourier se determinó un nuevo valor de espesor de 50 mm para poliestireno expandido y de 55 mm para la espuma de poliuretano; el cual permitirá mantener con mayor tiempo la temperatura ideal interna de 22°C ; se validó estos resultados mediante consumo de combustible, tiempo en que se halla encendido el equipo de calefacción. Finalmente, mediante simulación usando Software ANSYS student free. Una vez que se obtuvo los resultados mediante cálculo manual y simulación se obtuvo un margen de error absoluto para el poliestireno expandido del 8.22% y para la espuma de poliuretano del 6.934%.

Palabras clave: Transferencia de calor, resistencia térmica, flujo de calor, aislante térmico, transferencia de calor por conducción.

ABSTRACT

This research study focuses on improving the internal comfort of passengers, determining an adequate thickness of thermal insulation. In Ecuador, many bodybuilding industries are engaged in the development of buses, in the market two types of thermal insulation are handled: one is expanded polystyrene and cold-injected polyurethane foam. In order to determine the calculations; We started with a direct temperature measurement for 6 months; Both internal and external; For which routes were established within the inter-Andean region such as the route from Riobamba to Quito and from Riobamba to Cuenca; The average minimum temperature values were 7 °C on the outside and 14 °C for the passenger side. A body was designed with measures established under standard ENEN 1323, which was modeled in NX software, in addition to the heat transfer analysis, all the thermal properties of the materials that influence the analysis were estimated, measured thickness values were 40 mm for expanded polystyrene and 45 mm for polyurethane foam. With this information you can start the analysis by conduction by combining composite walls located in series and parallel, calculating values of thermal resistance, heat flow; With the Fourier equation a new thickness value of 50 mm for expanded polystyrene and 55 mm for the polyurethane foam was determined; Which will allow to maintain with more time the ideal internal temperature of 22 °C; These results were validated by fuel consumption, when the heating equipment is switched on. Finally, through simulation using ANSYS student free software. Once the results were obtained by manual calculation and simulation, an absolute margin of error was obtained for the expanded polystyrene of 8.22% and for the polyurethane foam of 6.934%.

Key words: Heat transfer, thermal resistance, heat flow, thermal insulation, conduction heat transfer.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador se ha venido desarrollando la industria carrocera en especial en la zona centro; la cual ha creado diversos modelos de carrocerías año tras año; teniendo un gran enfoque en brindar un mejor confort a los pasajeros; además de generar fuentes de trabajo permitiendo mejorar la economía y la matriz productiva del país.

En su gran mayoría, los buses interprovinciales que son carrozados dentro del Ecuador; presentan ciertos inconvenientes en cuanto a la conservación de temperatura en el interior del automotor, generando malestar a los usuarios. Además, si se analiza los parámetros en cuanto a los vidrios, los cuales están bajo norma INEN 1669 la cual trata sobre los vidrios de seguridad para automotores, de acuerdo a los requerimientos para el autobús; establece condiciones de resistencia, translucidas entre otro, permitiendo manejar condiciones de confort a los pasajeros.

La industria carrocera del Ecuador ha desarrollado tecnología para mejorar el confort de los pasajeros, como implementando equipos de climatización en las unidades, mejorando los asientos, cortinas, acabados externos, haciendo el traslado de un lugar a otro lo más amigable posible.

A través de un estudio de campo realizado con respecto al confort térmico (metodología aplicada y resultados se presentan más adelante) se evidencia que los pasajeros tienen la percepción de una baja brusca de temperatura en las madrugadas sobre todo cuando los buses interprovinciales circulan por los páramos de la región interandina.

Con la finalidad de brindar un mejor confort y evitar los cambios de temperatura bruscos para los pasajeros, además de mejorar la eficiencia en los equipos ya sean para calefacción o climatización se presenta el siguiente proyecto que tiene como objetivo determinar un espesor adecuado de aislante.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

INTRODUCCIÓN (ESTUDIO DEL ARTE)

Con el avance de la tecnología y la necesidad de mejorar las condiciones humanas, en la industria carrocera se han incorporado sistemas de climatización para brindar un confort térmico a los usuarios, sin embargo, estos equipos incrementan el consumo energético en el automotor además de eliminación de residuos hacía el ambiente.

En la región interandina del Ecuador, la principal problemática es el calentamiento o enfriamiento rápido dentro de los autobuses interprovinciales lo que genera malestar a los usuarios, haciendo que lleven más objetos como cobijas, chompas entre otros para poder ir con comodidad, lo que lo hace perturbador el viaje.

Al analizar el aislamiento térmico que poseen las carrocerías, se genera cierta incertidumbre ya que solo poseen restricciones en cuanto al índice de flameabilidad, una de las causas que generan este inconveniente es que no se manejan parámetros técnicos o no hay la respectiva normativa ecuatoriana; adaptada a nuestras condiciones climáticas; además cada empresa carrocera maneja parámetros reservados de construcción. Pero al considerar el espesor adecuado de aislante muchas de las industrias carroceras podrían aplicar de mejor manera sus acabados.

El presente proyecto de investigación busca resolver la problemática del confort térmico en buses interprovinciales que circulan por las carreteras de la región interandina ecuatoriana mediante la determinación del espesor adecuado de aislante además de validarlos mediante dinámica computacional de fluidos (CFD). Este tema también es de interés científico ya que permitirá a los interesados, y a su vez a estudiantes; puedan aplicar una metodología de cálculo de espesores de aislantes ya introducidos en el mercado, así como a futuros materiales. Además del manejo respectivo de simulación.

Hoy en día existe en el mercado muchos aislantes, específicamente dentro del mercado nacional se maneja la espuma de poliuretano y espuma Flex; materiales que poseen propiedad

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

que aíslan el calor o frío para el interior de la carrocería y que será de interés para el análisis de la investigación planteada.

En el ámbito profesional como académico, el interés va mucho más allá; la mejora progresiva de confort humano, van de la mano con la aplicación de parámetros técnicos y uso de herramientas fiables para el cálculo y optimización de recursos dentro de la matriz productiva carrocera en el Ecuador, un número de producción aproximado de 600 unidades por año dato otorgado por diario la hora con fecha 25 de julio de 2016 expuesto por el señor presidente de la CAMARA NACIONAL DE FABRICANTES DE CARROCERIAS CANFAC el Ing. Jácome, los datos otorgados son cifras altas donde el tema de investigación tiene importancia (LA HORA , 2016).

El estudio realizado por José Santiago Villar parte de un profunda investigación en cuanto a buses urbanos en determinadas ciudades europeas, analizando las distintas problemáticas y parámetros como condiciones climáticas, número de pasajeros, el uso de aislante para los laterales del autobús de 8 mm de fibra de vidrio y 13 mm de espuma rígida de poliuretano en buses; mientras que para el techo usan 8 mm de fibra de vidrio y 33 mm de espuma rígida de poliuretano, además con los datos otorgados determina la potencia necesaria para colocar equipos de climatización (Villar, 2015).

Además, bajo norma ecuatoriana no se hace un análisis en cuanto al espesor y el tipo de aislante en la presente norma específica que los vehículos deben poseer un sistema de aislamiento acústico y térmico de baja combustibilidad o retardadores de llama mas no se especifica un espesor, solo se hace un análisis de niveles de ruido (INEN 1668, 2015).

Al realizar consideraciones de avance en el mercado y su competencia, se plantea una nueva generación de autobuses que permitan dar un mejor servicio y además que no generen mayor contaminación es lo que se planteó con una flota de buses financiados por la comisión europea; pero la problemática es que se hace mayor interés por permitir introducir al mercado

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

nuevas alternativas más fiables y eficientes las cuales no generen tanta contaminación al medio ambiente, los dueños de las flotas de autobuses ignoran los beneficios que podrían traer adquirir nuevos tipos de autobuses por sus costes elevados de adquisición y mantenimiento y además las autoridades en su mayoría no otorgan un subsidio e inversión para mejorar el rendimiento o mejoramiento respecto a la contaminación (Corazza, Guida, Musso, & Tozzi, 2016).

Ahora bien en cuanto al confort en la ciudad de Nanjing, China se realizó un estudio para poder analizar la comodidad en los autobuses urbanos que circulan en dicha ciudad; considerando parámetros como el ruido, la vibración, el confort térmico y la aceleración los cuales afectarían la comodidad en los pasajeros, pero además se considera parámetros técnicos como presión parcial de vapor de agua, nivel de presión sonora ponderado, tiempo, edad, genero, y salud; en los asientos de los pasajeros se instalaron botones que dan una señal a una luz led ubicada en el tablero del conductor mientras más se ilumine indica mayor grado de desconformidad y viceversa, y estos a su vez alertaban al conductor si la temperatura, aceleración, ruido o vibración (Zhang, Zhou, & Zhang, 2014).

En climas fríos y templados, generalmente la envolvente de una construcción , para minimizar la transferencia de calor desde el ambiente interior hacia el exterior debe ser hermética, compacta y bien aislada, que se eviten los puentes térmicos, con el fin de retener las ganancias internas de calor, es importante que se limite lo mayor posible el contacto con el aire frío del exterior, sellando adecuadamente las fisuras o aberturas que puede haber en la carrocería, se pretende evitar las pérdidas de calor debido a las infiltraciones de aire del exterior. De esta forma, se minimiza la transferencia de calor a través del aislante, gracias al uso de materiales con baja transmitancia térmica y a una menor área de transferencia de calor (INER, 2016).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Otro de los parámetros analizados son los cristales; ya que estos dependen de las frecuencias donde van recorrer los autobuses. Parámetros muy importantes como tamaño, precisión, para el caso de autobuses en nuestro país se manejan vidrio tipo laminado el cual tiene algunos beneficios como resistencia al impacto, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la abrasión, humedad, trasmisión luminosa (INEN 1669, 2011).

OBJETIVOS:

GENERAL

- Determinar el espesor adecuado en los aislantes térmicos en buses interprovinciales aplicando técnicas CFD que permita brindar confort térmico a los usuarios.

ESPECÍFICOS

- Medir el gradiente de temperatura con los espesores actuales, por medio del termohigrómetro para obtención de los datos preliminares.
- Identificar los materiales componentes de la carrocería del bus, a través de los manuales e instructivos del fabricante para la definición de sus propiedades.
- Diseño del bus mediante el uso del CAD para el análisis de temperaturas
- Simular la variación del gradiente de temperatura a partir de la asignación de las propiedades de los materiales y el uso de CFD para la determinación de la mejor variante.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

MARCO TEÓRICO

Bus

Vehículo automotor construido para el transporte de pasajeros y de mercancía, compuesto por carrocería, chasis, y otros componentes los cuales están acondicionados para el transporte de pasajeros (figura 1), con una capacidad desde 36 asientos , incluido el conductor (INEN 1668, 2015).



Figura 1. Bus
Fuente: Autor

Tipos de buses

Las clasificaciones vehiculares bajo norma ecuatoriana para buses, son asignadas mediante un tipo de categorización, en este caso lo buses están dentro de la categoría M3, como se visualiza en la figura 2, la clasificación vehicular M3 a su vez se divide en sub-clase dependiendo de un número mayor a 22 plazas, sin contar al conductor en una de Clase III los cuales únicamente llevan pasajeros sentados (NTE INEN 2656, 2016).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

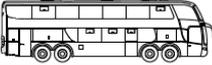
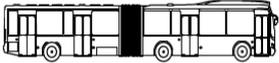
CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
MNB	MINIBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.
BUS	BUS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2, 3.1.2.2, 3.1.2.3 y 3.1.2.4.
BDP	BUS DE DOS PISOS, PISO Y MEDIO		Vehículo destinado al transporte de pasajeros de dos plantas con espacios internos para la circulación (corredor central), de Clase III. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2 y 3.1.2.4
ART	ARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5
BART	BIARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5 En este caso el vehículo cuenta con tres secciones que están unidas por dos juntas.

Figura 2. Clasificación vehicular tipo 3

Fuente: (Norma INEN 2656)

Dentro de condiciones nacionales a los vehículos de transporte público de pasajeros se clasifican en intrarregionales, intraprovinciales e interprovinciales.

- Intrarregionales: es utilizado para el transporte de pasajeros dentro de una misma región.
- Intraprovinciales: medio de transporte para pasajeros dentro de una misma provincia.
- Interprovinciales: en la figura 3 se puede apreciar el bus, el cual es un medio de transporte para pasajeros utilizado para viajes entre provincias (INEN 1668, 2014).



Figura 3. Bus interprovincial.

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Carrocería

En un autobús la carrocería es el conjunto de elementos estructurales, conformado por perfiles y tubería estructural protegidos contra la corrosión, la estructura debe mostrar características que garanticen seguridad y confort a los ocupantes y la carga del bus, obedeciendo las normas técnicas ecuatorianas (INEN 2415, 2008), (INEN 1623, 2015).

Con el avance la ciencia y tecnología el conformado y diseño de autobuses seguirán en un proceso de mejora con el objetivo de brindar un mejor confort, mayor velocidad con un menor consumo y mayor potencia, además de ingeniarse componentes que alivianen peso, y garanticen la seguridad a los ocupantes; muchas son las industrias carroceras que buscan brindar un mejor acabado en su producción.

Geometría de carrocería

La geometría para buses interprovinciales está acorde a lo estipulado en norma INEN 2656, cada industria carrocera posee su modelo por lo que manejan una variedad de conformado y proceso, en la tabla 1 se muestran las dimensiones exteriores de la carrocería y en la tabla 2 las dimensiones interiores ver ANEXO 1.

Tabla 1. *Dimensiones exteriores de la carrocería*

Dimensiones externas	Medida (mm)
largo total del vehículo	10 250 a 13 300
Ancho total del vehículo	2 500 a 2600
Altura	4100
Voladizo delantero y posterior 66% la distancia entre ejes	2000 a 2900

Fuente: (Norma INEN 2656)

Tabla 2. *Dimensiones internas de la carrocería*

Dimensiones internas	Medida (mm)
Altura interna del vehículo mínima	1900
Altura piso al borde inferior de la ventana	700

Fuente: (Norma INEN 2656)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Chasis

Es la parte de soporte o bastidor que tiene una carrocería como el motor, transmisión, suspensión, ruedas, frenos entre otros, las cuales deben tener las respectivas modificaciones aditamentos, mismas que son autorizadas por el fabricante como se puede apreciar en la figura 4 (INEN 1668, 2015).



Figura 4. Chasis para bus
Fuente: www.busecuador.com

Ventanas

Las ventanas deben tener un espesor mínimo de 4 mm, la del conductor debe abrirse un 30 % de su ancho; y de los pasajeros estas deben ser individuales o dobles (panorámicas) fijas o corredizas, su apertura debe tener de un 30 a 60 % del área la altura máxima es de 1200 mm; además deben estar sujeta a la carrocería y de un cierre hermético además se debe especificar su uso automotriz (INEN 1669, 2011).

Calidad del transporte público

El término calidad ha sido ampliamente utilizado en distintos sectores, el concepto de calidad se consideran algunos parámetros como enfoques, modelos, procesos, métodos y herramientas. Según la norma ISO 9000:2015 un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) es “el sistema de gestión para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad”. Proporciona confianza, tanto interna como externa, sobre la capacidad de organización para ofrecer productos y servicios que satisfagan los requisitos de forma coherente, con objeto de incrementar la satisfacción del cliente.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Parámetros térmicos

Dentro de las consideraciones para realizar el análisis térmico se manejan magnitudes físicas como: calor, cantidad de calor, flujo de calor; condiciones de transmisión térmica; entre otros parámetros muy importantes que permiten agilizar el proceso de cálculo del espesor de aislante (NTE INEN-ISO 7345, 2014).

Calor.

Se define como la energía cinética total de todas las partículas o moléculas de una sustancia (Corace, 2013)

Calor específico (C_p).

Como una medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica.

Conductividad térmica (k).

Es una característica de los materiales y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor. La conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa a través de la unidad de superficie de una muestra del material. Del mismo modo, la conductividad térmica (k) es una medida de la capacidad de un material para conducir calor, se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura como se puede apreciar en la figura 5 (Yunus & Afshin, 2011).

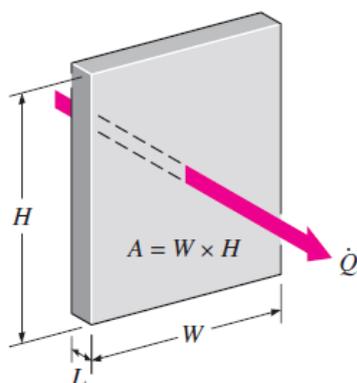


Figura 5 Conducción de calor
Fuente: (Yunus & Afshin, 2011)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Temperatura del aire.

Valor señalado con un termómetro expuesto al aire y a su vez debe estar protegida de la radiación solar directa, el valor esta dado en grados Celsius.

Temperaturas extremas.

Son valores máximos y mínimos de temperatura del aire adquiridos durante periodos de observación.

Humedad atmosférica.

Se considera como el vapor de agua en el aire el cual considera de tres parámetros relacionados como tensión de vapor, humedad relativa, temperatura del punto de rocío.

Tensión de vapor.

Fuerza ejercida por el vapor de agua atmosférica sobre la superficie de la tierra, independientemente del resto de gases del air, se mide en Hectopascales por tratarse de presión.

Humedad relativa.

Parámetro que permite determinar el grado de saturación de la atmosfera, su unidad esta determinad en porcentajes, mientras mayor sea su porcentaje mayor es el grado de saturación de vapor del agua en la atmosfera.

Temperatura del punto de rocío.

Temperatura a la que hay que enfriar una masa hasta que se sature, a presión y humedad constante (proceso isobárico), se mide en grados centígrados (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA , 2015).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Densidad (ρ).

Se trata de una propiedad intensiva, íntimamente relacionada con la estructura molecular de la materia, como se puede apreciar en la ecuación 1, es la relación masa sobre volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

En donde:

$\rho =$ densidad

$m =$ valor de masa, (kg)

$v =$ volumen (m^3)

Inercia térmica.

Al combinar estas dos propiedades de densidad y calor específico, se logra medir la capacidad térmica volumétrica, es decir la capacidad de un material para almacenar energía térmica (Incropera & DeWITT, 1999).

Transferencia de calor

Forma de energía que se puede transferir del medio que tiene la temperatura elevada hacia uno de baja como resultado de la diferencia de temperaturas, se detiene hasta cuando ambos alcanzan la misma temperatura. La velocidad de la transferencia de calor depende de la magnitud del gradiente de temperatura es decir la diferencia de temperatura por unidad de longitud o la razón de cambio de temperatura en dicha dirección, a mayor gradiente de temperatura, mayor es la transferencia de calor (Yunus & Afshin, 2011).

La transferencia de calor tiene lugar en tres modos diferentes por conducción, convección y radiación.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Conducción.

Transporte de energía térmica desde una región de alta temperatura a una de baja temperatura entre medios sólidos, líquidos y gaseosos que están en contacto físico directo. La ecuación 2 que rige este medio de transferencia de calor es la Ley de Fourier.

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2).$$

Dónde:

$$k = \text{conductividad térmica, } \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \right)$$

$$A = \text{Área transversal normal al flujo de calor, } m^2 \text{ (ft}^2\text{)}$$

$$q = \text{Flujo de calor, KJ por unidad de tiempo}$$

$$T = \text{temperatura, } ^\circ C \text{ (} ^\circ F\text{)}$$

$$X = \text{Dimensión de coordenadas a lo largo del flujo de calor, } m \text{ (ft)}$$

$$\frac{\delta T}{\delta n} = \text{diferencial de temperatura}$$

El signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente.

La ecuación 2 muestra que el rango de transferencia de calor es directamente proporcional al gradiente de temperatura. Conductividad térmica k , y el área transversal del flujo de calor; el si la temperatura disminuye, el signo menos indica que el calor debe fluir en la dirección de la temperatura decreciente; es decir, si la temperatura disminuye a medida que x aumenta, el gradiente dT / dx es negativo, de modo que la conducción de calor es una cantidad positiva; para la conducción de calor en estado estacionario a través de una pared compuesta plana con contacto térmico perfecto entre cada capa, como se muestra en la figura 3, la velocidad de transferencia de calor a través de cada sección de la pared compuesta debe ser la misma, donde LA , LB , LC son los espesores y kA , kB , kC representan la conductividad térmica de las capas A , B y C , respectivamente, de la pared compuesta (m) T_1 , T_2 , T_3 , T_4

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES
temperaturas en las superficies 1, 2, 3 y 4, respectivamente, ° C (°F) las cuales se hallan especificadas en la Ecuación 2 (Wang, 2000).

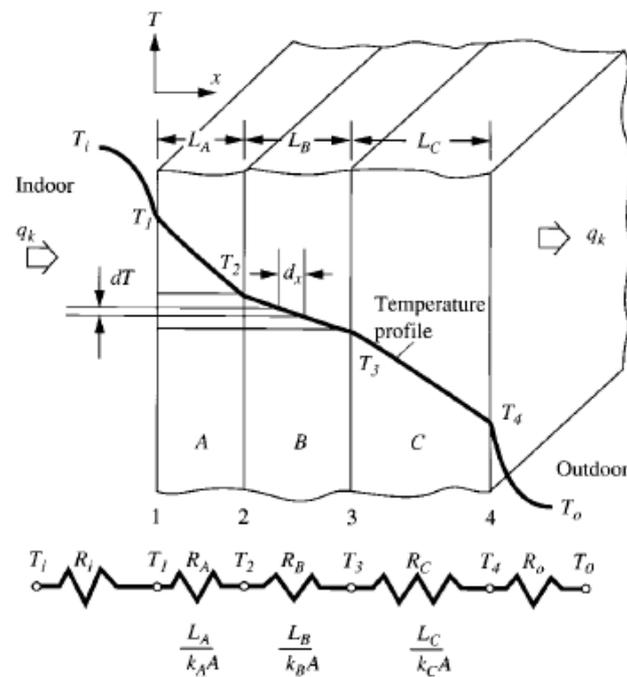


Figura 6. Conducción de calor unidimensional en estado estacionario a través de una pared compuesta.

Fuente: "Handbook of Air Conditioning and Refrigeration" por Shan K. Wang (2000, 94, p 1401)

$$q_k = \frac{k_{AA}}{L_A} (T_1 - T_2) = \frac{k_{BA}}{L_B} (T_2 - T_3) = \frac{k_{CA}}{L_C} (T_3 - T_4)$$

Como las temperaturas \$T_2\$ y \$T_3\$ representan a la misma superficie estas se anulan ya que poseen igual valor, la ecuación 2, se reemplazaría por la ecuación 3.

$$q_k = \frac{T_1 - T_4}{\frac{L_A}{k_{AA}} + \frac{L_B}{k_{BA}} + \frac{L_C}{k_{CA}}} \quad (3)$$

Resistencias térmicas ubicadas en serie y paralelo

Para resolver ejercicios de transferencia de calor de paredes compuesta en serie o paralelo, se debe seguir la analogía eléctrica como se muestra en la figura 7, consta de capas

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES
 en paralelo y serie, al sumar los valores de resistencia térmica la sumatoria quedaría como se muestra en la ecuación 4. (Yunus & Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

$$R_{total} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_{conv} \quad (4)$$

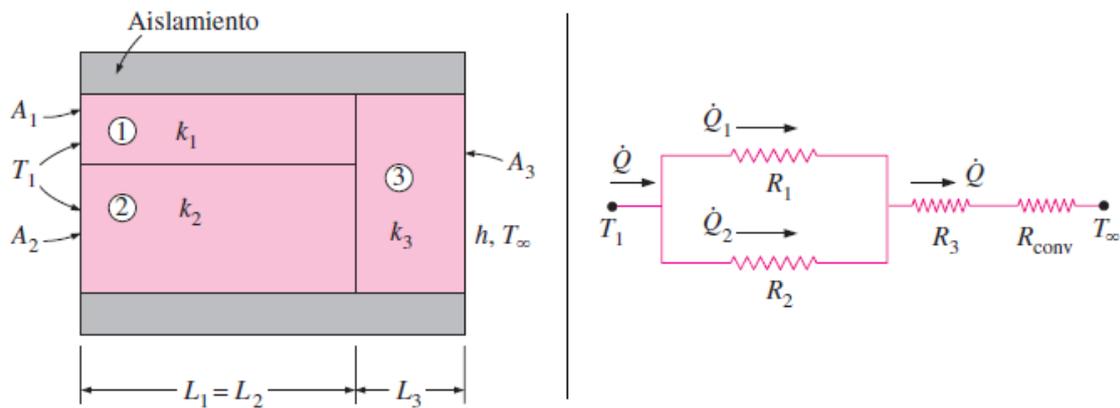


Figura 7. Red de transferencia de calor para disposición combinada en serie y paralelo
 Fuente: (Yunus & Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

Convenio del signo

En la ecuación de la transferencia de calor por conducción, está representado por la ecuación de Fourier, el cual posee un signo negativo, siendo consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, según esto el calor fluye hacia la temperatura más baja, por tanto el gradiente de temperatura es negativo si la temperatura disminuye para valores en sentido creciente de las coordenadas en x , por tanto es necesario introducir ante esta situación el signo negativo, por lo que se puede apreciar en la figura 8 (Panana Girio).

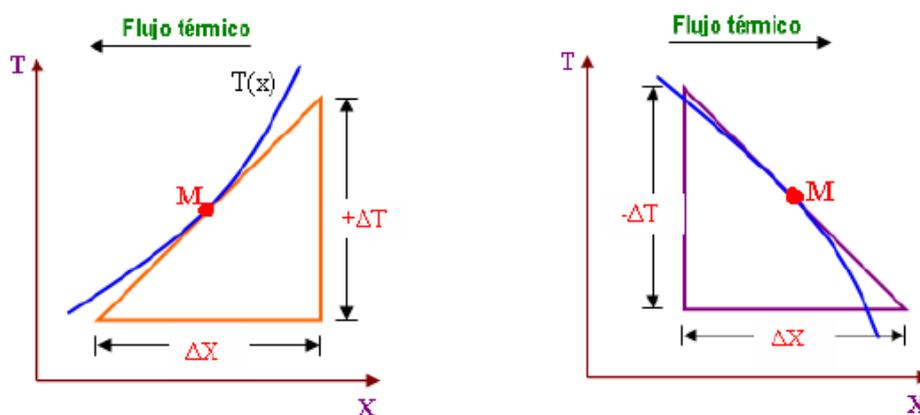


Figura 8. Signo de la transferencia de calor por conducción

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Fuente. Libro de transferencia de calor y masa (Ing. Alberto Panana)

Resistencia Térmica (R_t)

De acuerdo a la analogía existente el flujo de calor y el flujo eléctrico, el flujo de calor en una pared plana está dada en la ecuación 5.

$$R_t = \frac{e}{k \cdot A} \quad (5)$$

En donde:

$e = \text{espesor (mm)}$

$k = \text{conductividad térmica}$

$A = \text{área transversal (mm}^2\text{)}$

Coefficiente global de transferencia de calor (U).

Para la resolución de ejercicios con paredes planas es conveniente trabajar con el coeficiente de transferencia de calor, siendo la relación de la resistencia térmica total (R_t) por el área de transferencia de calor (A) como se muestra en la ecuación 6.

$$U = \frac{1}{R_t \cdot A} \quad (6)$$

Transferencia de calor en la ingeniería

Muchas son las aplicaciones que tiene esta ciencia, pero los problemas en la práctica son la capacidad nominal y el dimensionamiento. Los problemas de capacidad nominal tratan de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura. Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura (Yunus & Afshin, 2011).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Aislamiento térmico

Material utilizado para disminuir el flujo de calor, caracterizado por su bajo coeficiente de conductividad térmica (INEN 2 506, 2009).

Los vehículos deben poseer aislante térmico, 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 baja combustibilidad o retardadores de llama (INEN 1668, 2015).

Espuma de poliuretano.

Es un material compuesto por poliol e isocianato con un acabado burbujoso y ligero, de baja densidad. El cual permite aislar del calor o del frío; permeabilizar; proteger a la carrocería de la corrosión (figura 9); además de terminar con versatilidad los trabajos; según la clasificación de los tipos de espuma de poliuretano existen espumas en caliente y espumas en frío; siendo la más usada para la industria carrocera la de en frío; ya que posee propiedades de mejor calidad y duración, aunque su costo es un poco alto, para ver especificaciones técnica como conductividad, capacidad calorífica y densidad se puede apreciar en la tabla 3.



Figura 9. Espuma de poliuretano

Tabla 3. Especificaciones técnicas Espuma de poliuretano

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Conductividad	0,025	$W/m.K$
Capacidad Calorífica	1,8	$kJ/Kg.K$
Densidad	35	Kg/m^3

Fuente: (Villar, 2015)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Poliestireno expandido.

Conocida en nuestro medio como espuma Flex ,su materia prima es el poliestireno expandible, se obtiene por polimerización del estireno con introducción de un agente de expansión, entre sus propiedades esta la propiedad de aislamiento térmico de hasta un 98% ,resistencia al envejecimiento (figura 10), es de característica hidrófobo, durabilidad , resistencia mecánica, es de fácil adquisición, además de ser un material inerte, no ataca al medio ambiente, no es valor nutricional para hongos, bacterias u otros organismos vivos, lo ventajoso de este material es su bajo costo, como se puede apreciar en la tabla 4, en donde se detallan conductividad, capacidad calorífica y densidad, parámetros que son necesarios para nuestro cálculo.



Figura 10. Poliestireno expandido
Fuente: (Xaisfe, 2017)

Tabla 4. *Propiedades técnicas de poliestireno expandido*

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Conductividad	0.033	$W/m.C$
Capacidad Calorífica	2.1	$kJ/Kg.C$
Densidad	960	Kg/m^3

Fuente: Adaptado al SI de E. R. G. Eckert y R. M. Drake: Heat and Mass Transfer, 2da ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York,1959

Inflamabilidad de los materiales

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

En los aislantes térmicos se considera las distintas pruebas para la inflamabilidad superficial, el cual determina un índice de propagación de llama, además si el aislante es de tipo elastómero debe cumplir con el índice de propagación del fuego con un índice de llama máximo de 100 mm/min (ISO 3795, 1989).

En cuanto al comportamiento del material aislante que se ubique en el motor, paredes o techos del bus se debe considerar que este no sea susceptible de impregnarse de combustible ni mucho menos sean de característica volátil, o a su vez este debe estar recubierto con un revestimiento impermeable, además dentro de los autobuses se puede instalar equipos ya sea para calentar o enfriar el interior, pero estos también deben estar recubiertos de materiales aislantes que toleren el funcionamiento de los mismos, además de que estos equipos no emitan gases tóxicos que no repercutan al ser humano ni al medio ambiente (DIRECTIVA EUROPEA, 2002).

Confort térmico

Cuando hablamos de confort, se refiere a la combinación de los parámetros ambientales, fisiológicos, psicológicos y culturales que generan en el individuo una sensación de bienestar, para llegar a estas condiciones el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo, como se puede ver en la figura 11, en donde se muestran los valores de conformidad deben ser neutrales.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

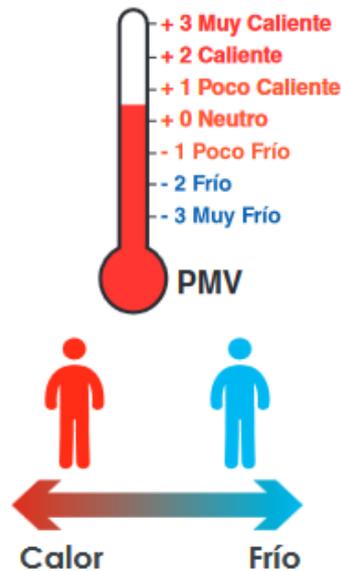


Figura 11. Rangos de confort
 Nota: extraído del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables Fuente: (INER, 2016)

El ser humano siempre se ha esforzado por crear un ambiente térmicamente cómodo, confort es una condición neutra respecto a un ambiente térmico, el ambiente térmico se considera en conjunto con los siguientes factores como temperatura del aire, velocidad del aire de impulsión, humedad relativa, temperatura interior de las superficies. En parámetros técnicos la temperatura de confort no debe ser superior a 23 °C. Para llegar a una sensación de confort la sumatoria de el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo permitiendo otorgar la temperatura idónea. (ISO 7730)

Calentamiento

A la temperatura mínima exterior de la zona climática, a la máxima velocidad de operación del vehículo, sin carga solar, sin ocupación y con el aporte mínimo de aire fresco, la temperatura media interior (T_{im}) en el entorno de confort debe estar por encima de +10 °C para todas las zonas climáticas. (Villar, 2015)

Enfriamiento

A las condiciones exteriores de la zona climática, incluyendo la carga solar si es aplicable, con un vehículo estacionado, para la ocupación normal y el mínimo aporte de aire

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES
fresco, la temperatura interior media (Tim) se fija según la zona climática desde la ciudad de Quito hasta Cuenca. (Villar, 2015)

Zonas Climáticas del Ecuador

En Ecuador el clima puede variar según el lugar, altitud, humedad, característica térmica, además al estar ubicado en el centro del planeta posee dos estaciones (invierno y verano) durante el año; por ser un país atravesado por la Cordillera de los Andes (cadena de montañas) posee una variedad de clima como se puede apreciar en la Figura 12, la variación de clima que posee. Se recomienda la clasificación climática propuesta por el Dr. Pierre Pourrut, investigador de la ex ORSTOM, para clasificar las temperaturas anuales, escoge las siguientes clases. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016)

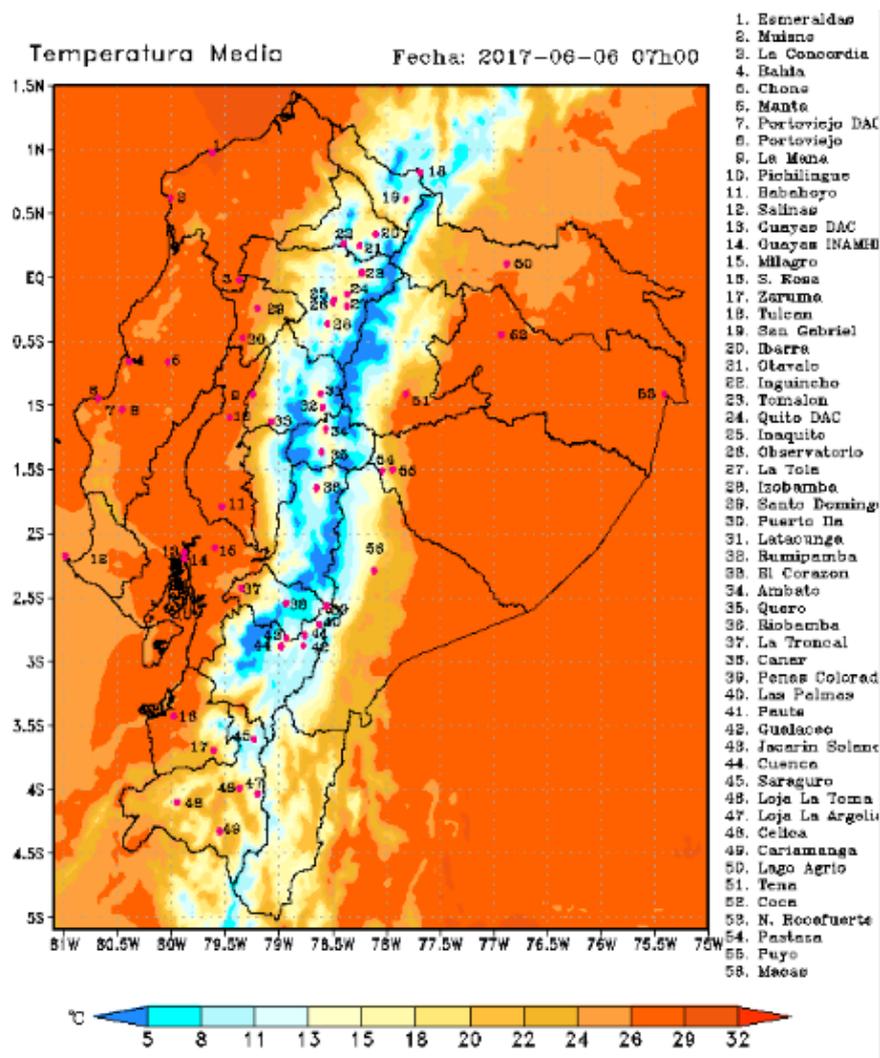


Figura 12 Temperatura media, dato adquirido por INAMHI 2017-06-06

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

- Megatérmico, para temperaturas medias superiores a 22 °C
- Mesotérmico, para temperaturas entre 12 y 22 °C.
- Frío, para temperaturas entre 8 y 12 °C.
- De alta montaña, para temperaturas entre 4 y 8 °C.
- Nival, para temperaturas inferiores a 4 °C.

En la clasificación se hace énfasis para condiciones de Frio, de alta montaña y Nival. Ya que son condiciones extremas para analizar.

Sistemas asistidos por computadora

Una herramienta imprescindible para análisis termodinámico dentro de las carrocerías es el uso de CFD “Computational Fluid Dynamics” es decir Dinámica de fluidos computacional, tuvo origen con la combinación de dos materias: mecánica de los fluidos y cálculo numérico. Las ecuaciones que rigen el flujo fluido tienen origen en la mecánica de los fluidos y pueden ser resueltas por medio de diferentes métodos numéricos, posee procedimientos numéricos para lograr resolver ecuaciones gobernantes de los fluidos, los softwares presentan una asombrosa flexibilidad, precisión y amplitud de la aplicación. Estos programas poseen conexión entre otros, ya que todos son dependientes para el trabajo diario ya sea para los profesionales como para los maquinistas; el interés de los programas es realizar los procesos ágiles, a menor costo y eficientes

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

MÉTODO

Para el desarrollo del trabajo se estableció una investigación exploratoria en su primera fase, la cual permitió conocer el objeto de estudio y las variables relacionadas con el problema identificado. También fue necesario realizar una investigación cuantitativa que permitiera establecer los valores de las variables para su procesamiento matemático y estadístico.

El problema relacionado con determinar un espesor adecuado de aislante térmico aplicado en las carrocerías tanto para la espuma de poliuretano como para espumaflex para buses interprovinciales, fue necesario aplicar tanto los métodos teóricos como empíricos.

Métodos de investigación

En el método teórico relacionado con el análisis, la síntesis y la deducción permitieron compilar la información necesaria para el análisis de los procesos de transferencia de calor, sus ecuaciones, parámetros técnicos para los aislantes térmicos (espuma de poliuretano en frío, expumaflex), y así poder evidenciar los factores que influyen en el desarrollo de este proyecto. Este primer paso es fundamental pues en el Ecuador la información referida a las propiedades de los aislantes empleados en la industria automotriz es información reservadas por las empresas constructoras.

Referente a los métodos empíricos: la observación, medición y experimentación, fueron necesarios aplicarlos para obtener los valores de las variables relacionadas con el objeto de estudio y establecer su comparación para la selección de las mejores variantes.

Para finalizar se requiere de cálculo matemático para poder introducir los parámetros técnicos que poseen los materiales de la carrocería, y a su vez las temperaturas adquiridas en las frecuencias recorridas, para el tratamiento en software CFD.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Metodología

Para la presente investigación se aplicará la metodología experimental, ya que se inició con el ruteo de las frecuencias a recorrer como son Quito a Riobamba (figura 13) la cual recorrerá sectores como Mocha, Ambato, Salcedo, Latacunga, Parque Cotopaxi, Aloag. Mientras que el otro recorrido empieza desde la ciudad de Riobamba a Cuenca (figura 14) del mismo modo recorrerá Cajamba, Colta, Columbe, Guamote, Vishut, Tixan, Alausí, Sibambe, Chunchi, Zhud, Cañar, Biblian, Azogues rutas importantes donde las temperaturas son bajas.

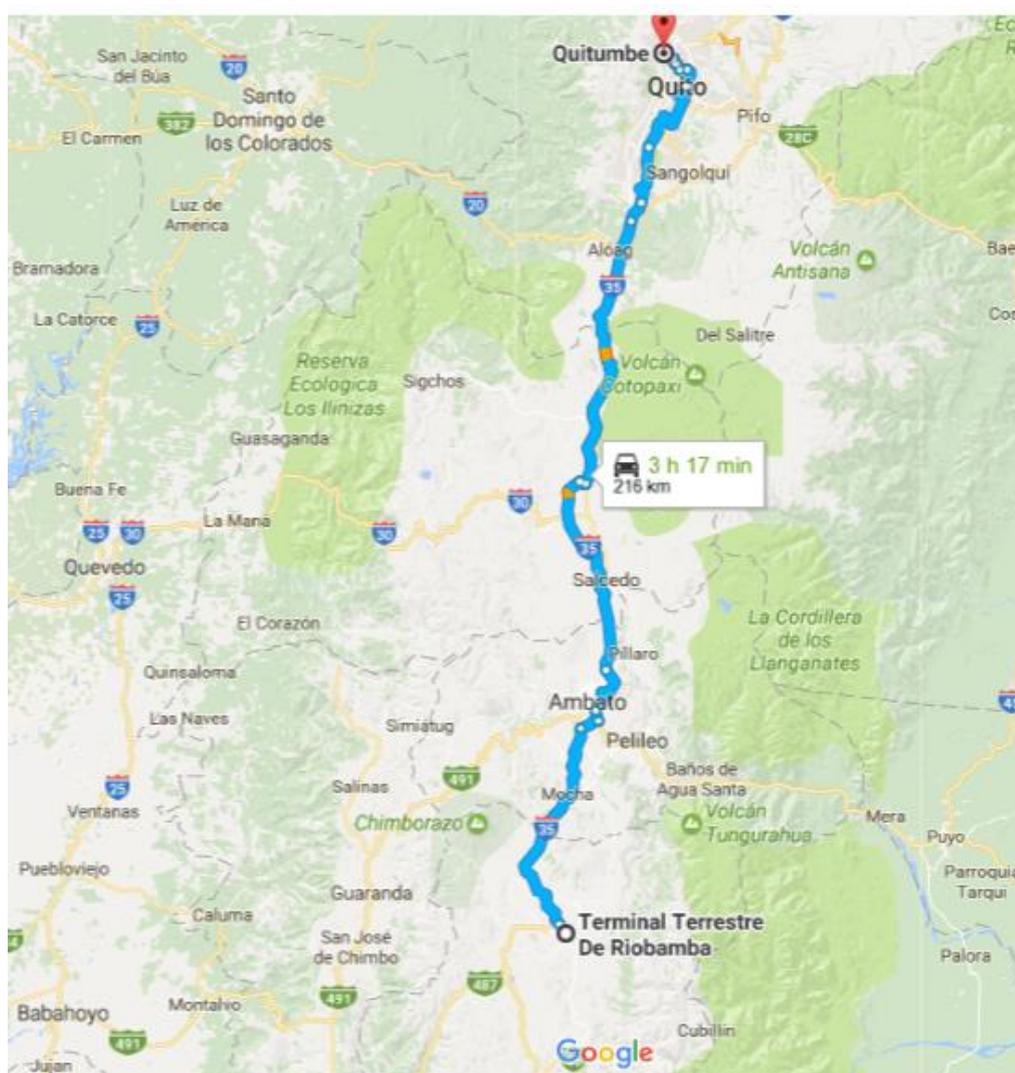


Figura 13. Frecuencia Riobamba Quito Fuente: (www.google.com.ec/maps, 2017)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

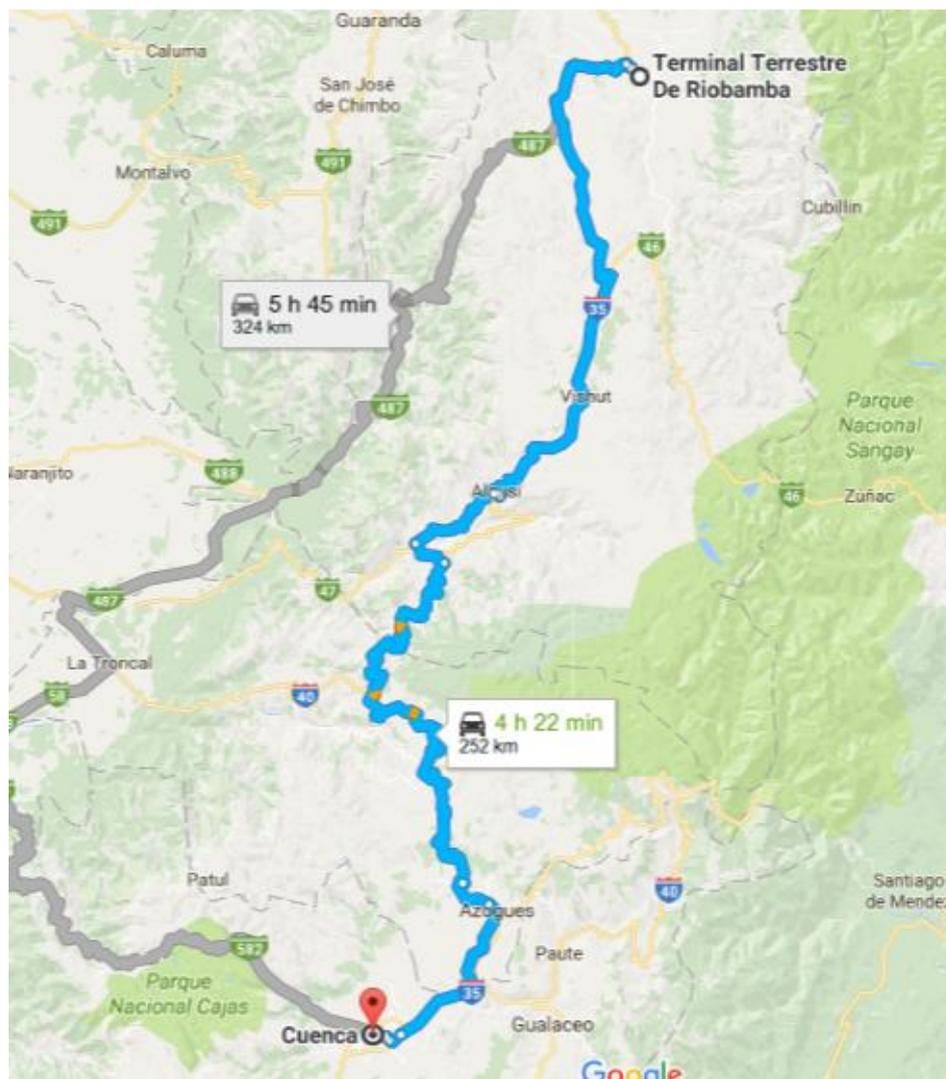


Figura 14 Frecuencia Riobamba Cuenca Fuente: (www.google.com.ec/maps, 2017)

Una vez identificado el recorrido que realizará el bus, se ejecutan encuestas para medir el nivel de comodidad de los usuarios en el transcurso de las frecuencias. Las preguntas fueron directas relacionadas con el estado de confort de los pasajeros referente a la sensación térmica (ver anexo 3), los resultados de las mismas fueron cuantificados con la ayuda de Microsoft Excel de Office.

Evaluación del gradiente de temperatura

Para obtener información numérica sobre las variaciones de temperatura que el bus experimenta en el transcurso del viaje, mediante la toma de datos con dos termohigrómetros,

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

uno ubicado en la parte externa y otro en la parte interna del bus, se tabuló la información de temperaturas. Se seleccionaron los autobuses que cumpla con los recorridos estipulados

Para la toma de datos se consideró la realización de dos viajes por semana, tanto para Riobamba-Quito (martes, miércoles) en los horarios de 02h00-05h30; 06h00-09h30 y Riobamba-Cuenca (sábado y domingo) de 22h30-04h00; 04h30-10h30. La toma de datos se inició desde el 9 de enero al 28 de junio, un total de 6 meses, además la toma de datos en las rutas establecidas fue cada 6 minutos es decir 10 valores por cada hora. Los datos de temperatura externa fueron comparados con valores otorgados por la institución Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Para tener valores más simplificados se resumió a valores mensuales, para las rutas establecidas.

Composición de la carrocería

Para establecer la dimensión se considera medidas que estén bajo NORMA INEN 2656, las cuales se indican en la tabla 5, donde se escoge dimensiones que este bajo norma.

Tabla 5. Medidas de carrocería

Denominación	Medida (mm)
Exterior	
Largo	11700
Ancho	2500
Altura	3900
Interior	
Altura interna	1900

Fuente: Autor *Nota:* Valores otorgados para buses interprovinciales

Epidermis del autobús

En el caso de transporte interprovincial el confort de los usuarios es importante, por lo que debe causar una buena apariencia y comodidad, para poder realizar el análisis de transferencia de calor se requiere saber los materiales y sus propiedades térmicas, por lo que es importante conocer las capas que posee el bus, por lo que se requirió hacer una especificación por partes de la carrocería ya que la pared, techo y parte posterior del autobús poseen distinta composición de conformado.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Pared.

Las paredes laterales están cubiertas por planchas de acero revestidas con un 55 % de aleación de Aluminio-zinc en caliente viene en bobinas de 4000 kg o 7000 kg, su ancho es de 1.2 metros según especificaciones (ASTM A792, 2015).

El espacio para el aislante es considerado por el espesor del perfil de acero estructural (ASTM A-500 , 2015) de dimensiones de 50x50x2 m, se debe aclarar que el aislante no ocupa el espacio en su totalidad por lo que también se considera una capa de aire estancado. La última capa es de fibra de vidrio, la cual posee un espesor de 4 mm aproximadamente. En las figuras 15,16 y 17 se puede apreciar lo mencionado, además el detallado en la tabla 6; se debe aclarar que el espesor de aislante no ocupa en su totalidad ya que para la espuma de poliuretano ocupa 3 a 4 cm con un acabado no uniforme, mientras que la capa de espumaflex es de 4 cm uniforme.

Tabla 6. *Capas de la pared*

Denominación de capas	Dimensión (mm)
Lamina de aluzinc	1
Espacio para aislante	55
Fibra	4

Fuente: Autor



Figura 15. Parte exterior de la pared de la carrocería Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 16. Parte interior de la carrocería Fuente: Autor



Figura 17. Parte interior forrada con la capa de fibra de vidrio Fuente: Autor

La pared posterior está conformada por una pared de fibra, cubierta con aislante térmico y otra capa de fibra para la parte interior por lo que las especificaciones de espesores están en la tabla 7, a su vez las figuras 18, 19, 20 se puede apreciar su conformado, no se debe olvidar lo anteriormente mencionado con respecto al aislante térmico, los cuales no ocupan todo el espacio asignado dentro de la carrocería.

Tabla 7. Capas pared posterior

Denominación de capas	Dimensión (mm)
fibra	4
espacio para aislante	55
fibra	4

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 18. Parte posterior de la carrocería Fuente: Autor



Figura 19. Parte posterior colocado la pared de fibra Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 20. Pared posterior de la carrocería sin pintura. Fuente: Autor

Techo.

Para el techo la capa inicial es la de fibra de vidrio, aislante, aire estancado, y fibra de vidrio nuevamente, así mismo en las figuras 21 y 22 donde se puede apreciar lo especificado en la tabla 8.

Tabla 8. Capas del techo de la carrocería

Denominación de capas	Dimensión (mm)
Capa de fibra de vidrio	6
Espacio para aislante	55
Fibra	4

Fuente: Autor



Figura 21. Techo en fibra de vidrio Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 22. Techo colocado en la carrocería Fuente: Autor

Ventanas:

Los vidrios están bajo norma INEN 1669, los cuales poseen las dimensiones adoptadas por la presente norma, sus dimensiones son de 960x1500 mm y 6 mm de espesor. Como se puede apreciar en la figura 23, los espacios respectivos que se dejan en carrocería para la ubicación de los mismos, en la figura 24, se visualiza que estos son laminados y poseen una pequeña ventana, ya que en caso de emergencia el resto de la superficie de la ventana se lo puede romper con un martillo.



Figura 23. Marcos para las ventanas Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 24. Ventanas buses interprovinciales Fuente: Autor

Diseño del prototipo a simular

Una vez que ya se posee las características de conformado de las carrocerías, como sus dimensiones estas se procede a dibujarlas en un software NX 10.0, el cual posee licencia vigente dentro de la Universidad Internacional SEK (ver anexo 2).

Cálculos de transferencia de calor

Para realizar el análisis térmico se aplica el uso de la ley de Fourier el cual se enunció en la ecuación 2 ubicada dentro del marco teórico, las consideraciones para el cálculo se enunciarán a continuación. A continuación, se detallará las ecuaciones empleadas para el cálculo de espesor.

Calor por conducción

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Resistencia térmica

$$RT = \frac{x}{K \cdot A}$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

- Se considera temperaturas externas e internas extremas adquiridas.
- En el cálculo se determina con transferencia de calor por conducción con paredes compuestas; ya que la toma de datos de temperatura se las realizó en horas donde la radiación no incide sobre la superficie.
- La conducción de calor en estado estable y unidireccional
- No se considera con fuente generadora de calor en el interior ya que interesa la funcionalidad del aislante.
- La conducción térmica constante
- Para el cálculo de transferencia de calor solo se consideró las partes del autobús que poseen aislamiento térmico.
- Se dividió el cálculo por partes ya que en este caso se tiene una variación de conformado en cuanto a partes de la carrocería como techo, paredes laterales y posterior.

Equipo de medición:

Termo Higrómetro Digital con Sonda

El equipo cuenta con una sonda de temperatura y humedad que permite realizar mediciones de temperatura y humedad de forma precisa. Es ideal en muchas aplicaciones ya sea para lugares húmedos o secos, ya que la sonda resiste la agresión causada por el agua como se puede apreciar en la figura 25.



Figura 25. Termo higrómetro digital
Fuente: www.terrarioshop.com

Características:

Medidas: 48 x 28,6 x 15,2 mm

Longitud de la sonda: 1,5 metros

Presión humedad: 5%

Precisión temperatura: 1°

Tamaño pantalla LCD: 46 x 27 mm

Funciona con 2 pilas 1,5 v LR44 (suministradas)

Simulación de transferencia de calor

Una vez diseñado el autobús (partes que poseen aislante térmico), características técnicas, los cálculos por transferencia de calor para cada una de las áreas a analizar, se realizó la simulación CFD; con los distintos datos de temperatura anteriormente adquiridos, considerando el espesor y aislante usado; la simulación se realizará en el software ANSYS student Free.

Luego de la simulación se podrá tener una idea clara sobre cada uno de los resultados, analizando cada uno de sus espesores, para ver el espesor óptimo.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Con los resultados obtenidos mediante simulación se procederá a realizar un análisis comparativo entre los datos tomados en forma directa, con los hechos mediante simulación, para esto se establece una comparativa entre consumo de combustible con los espesores anteriores y actuales, además de calcular el valor absoluto de error .

RESULTADOS

Dentro de la investigación exploratoria se obtuvo información importante, que permite visualizar algunas cualidades de los aislantes empleados en la industrial carrocera automotriz, los cuales se muestran a continuación.

Propiedades de la espuma de poliuretano

- ✓ Posee riesgos inherentes al poliuretano
- ✓ su densidad es por lo general muy baja
- ✓ su conductividad térmica es menor a la del poliestireno
- ✓ la resistencia térmica del poliuretano decae con el tiempo, dos veces más rápido que la del poliestireno.
- ✓ Produce gases tóxicos a temperatura ambiente como el isobutano, debe estar muy bien aislada de posibles incendios porque al quemarse desprende ácido cianhídrico que es tóxico para el ser humano.
- ✓ No requiere mayor demanda de mano de obra
- ✓ Posee alta adhesión y conformado a paredes o laminados
- ✓ Excelente para sellar fisuras o grietas por donde pueden quedar grietas, asegura un sellado hermético.
- ✓ La espuma de poliuretano es ecológica, libre de CFC (clorofluorocarbono), no daña la capa de ozono, no es comestible y por lo tanto no está sujeto a la acción de roedores y plagas ni a la formación de bacterias.
- ✓ Es un aislante continuo sin junta

Propiedades del poliestireno expandido

- Genera agua y dióxido de carbono al quemarse
- Es inerte, menos toxico, recomendable para protección contra incendios.
- Posee bajo costo

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

- Posee baja adherencia
- el poliestireno es hoy el cuarto plástico más consumido
- higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos, no se pudre, no se enmohece ni se descompone.
- ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos.
- evita la transferencia de calor o frío.
- Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (se deforma a menos de 100 °C, excepto en el caso del poliestireno sindiotáctico).

Para medir el nivel de confort respecto al nivel de frío en el interior de las unidades, se realizó encuestas, donde se evaluaron parámetros importantes como el confort dentro de las unidades a las rutas establecidas. Las encuestas fueron elaboradas a 100 usuarios de buses interprovinciales que cubrían las rutas anteriormente mencionadas, las preguntas que se enuncian a continuación son las más relevantes, ya que enfatizan con el tema de investigación.

1. ¿Con qué frecuencia viaja usted en buses interprovinciales?

El resultado de personas que viajan se establecieron condiciones como viajar siempre, casi siempre, poco, casi nunca; los resultados arrojados en la encuesta, para las condiciones que se presentaron al pasajero con qué frecuencia viaja usted como: “siempre” viajan arrojó un 18%, las personas que “casi siempre” viajan un 27%, de los que viajan “poco” un 40% y de las que viajan “casi nunca” un 15%, por lo que, al sumar las 3 variables de siempre, casi siempre y poco da un total de 85% de personas que usan buses interprovinciales, como se puede visualizar en la figura 26 los resultados obtenidos.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

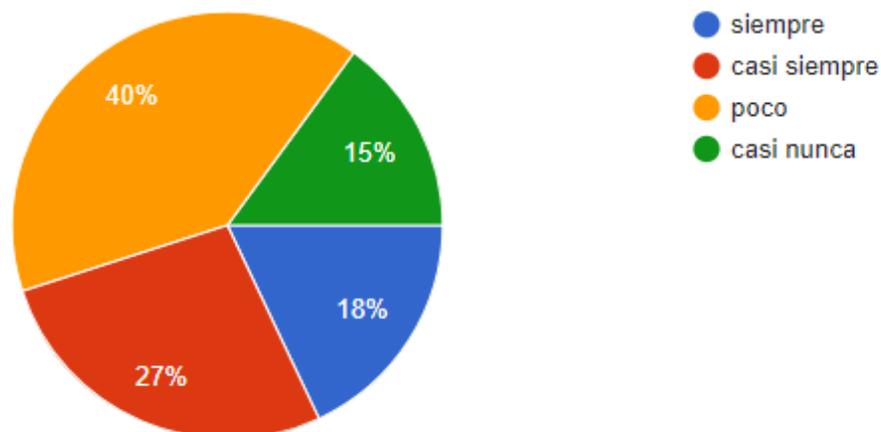


Figura 26. Frecuencia de viaje Fuente: Autor

2. ¿A cuál de estas dos ciudades usted ha viajado?

Las ciudades dentro del tema de investigación son Quito y Cuenca, el resultado que se visualiza en la figura 27, la primera ciudad enunciada el usuario a viajado en un 89.8% y para la segunda ciudad en un 24.5%.

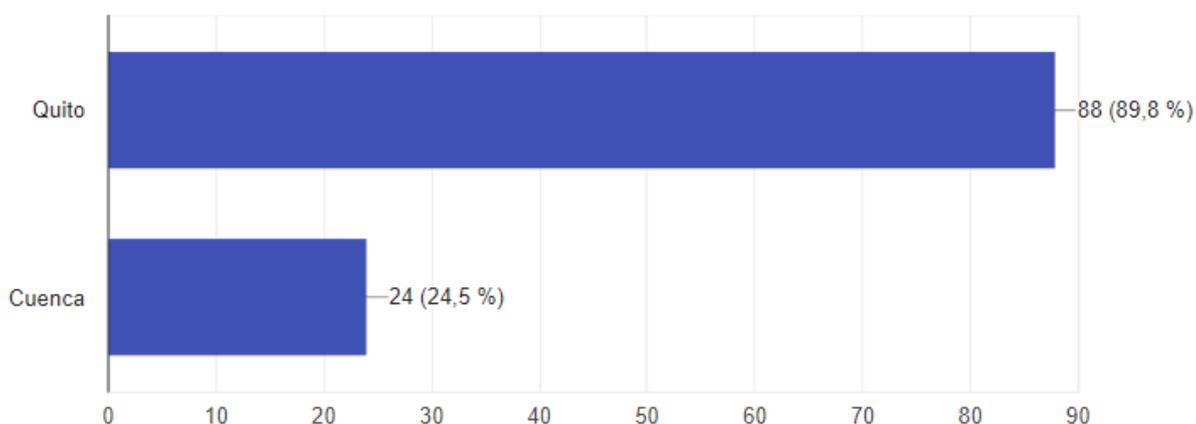


Figura 27. Ciudades analizadas Fuente: Autor

3. ¿En qué horario viaja frecuentemente?

Para el análisis del tiempo de viaje se consideraron opciones como “madrugada”, “media mañana, medio día, tarde y noche; al visualizar (figura 28) se observa que un 55% de los encuestados tienen preferencia por viajar en la madrugada, un 17.2% por viajar a media mañana, 6.1% a medio día, 14.1% para viajar en la tarde, 26.3% en la noche.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

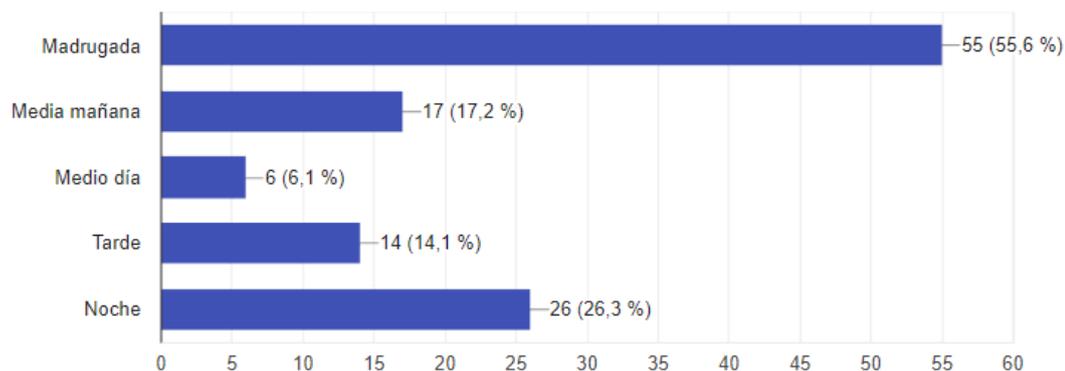


Figura 28. Horario de viaje Fuente: Autor

4. Según su percepción, ¿cuál es la sensación térmica dentro de la unidad durante el trayecto?

Según figura 29, las consideraciones que se establecieron para la sensación térmica fueron frío, muy frío, templado y sofocante; un 49.5% indicaron tener una sensación térmica “templado”; un 9.1% “muy frío”, un 35.4% “frio” y un 6.1% “sofocante”.

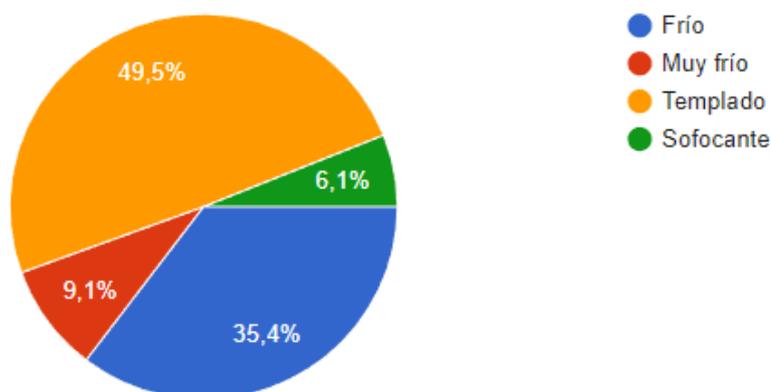


Figura 29. Resultado sensación térmica Fuente: Autor

5. Desde su punto de vista, ¿Qué cooperativas de transporte considera que brindan una sensación térmica adecuada durante todo el viaje?

Para la presente pregunta se establecieron las cooperativas que cubren los recorridos establecidos en la investigación por lo que en figura 30 se puede visualizar que un 30.3% prefieren la Cooperativa Ecuador; un 24.2% Cooperativa Patria; 23.2% Cooperativa

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Chimborazo, 16.2% Cooperativa Riobamba, 9.1% Cooperativa Trans Vencedores, 18.2% Cooperativa Panamericana, 5.1% Cooperativa Viajeros, 11.1% la Cooperativa Santa, 4% la Cooperativa Occidental, 7.1% Cooperativa Sucre Express, 4% Cooperativa Baños, 2% Cooperativa Loja, 3% Cooperativa Imbabura, 1% Cooperativas Unidos, Loja, Occidental, Aerotaxi, San Pedrito y Reina del Camino.

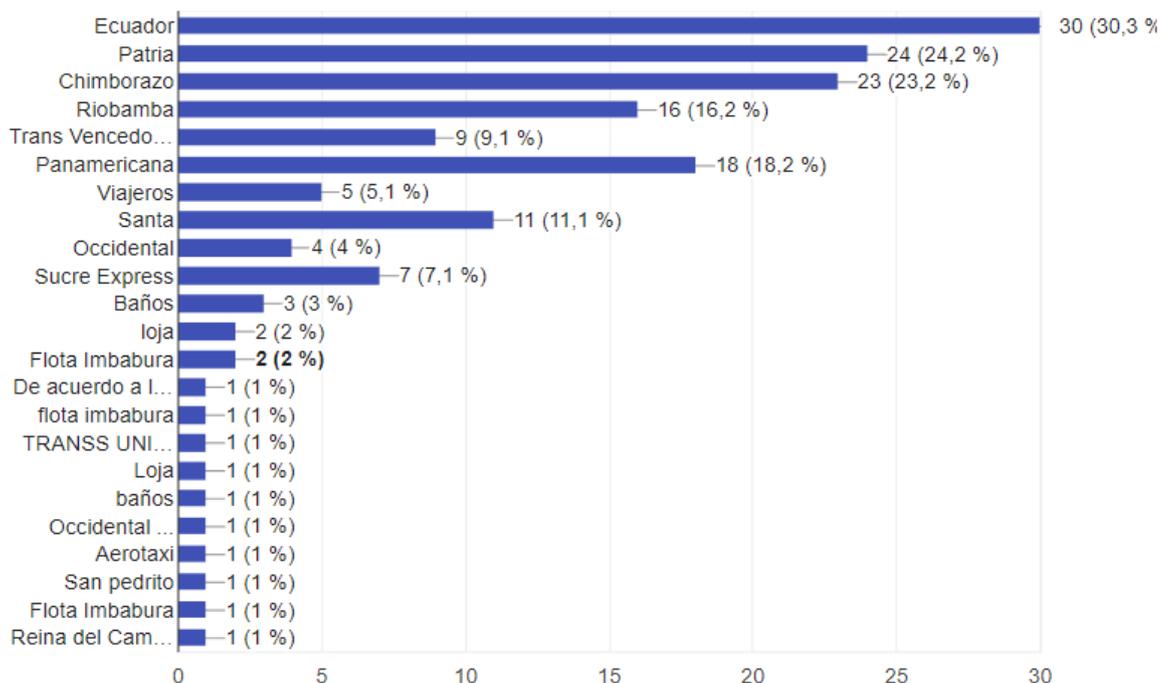


Figura 30. Cooperativas de transporte interprovincial Fuente: Autor

6. Cree que los sistemas de calefacción, así como de enfriamiento que utilizan las unidades de transporte son adecuados

La mayoría de los usuarios en un 59% (figura 31) determinaron que el uso por parte de los conductores, no es el adecuado; por otra parte, un 41% considera que si lo ocupan.

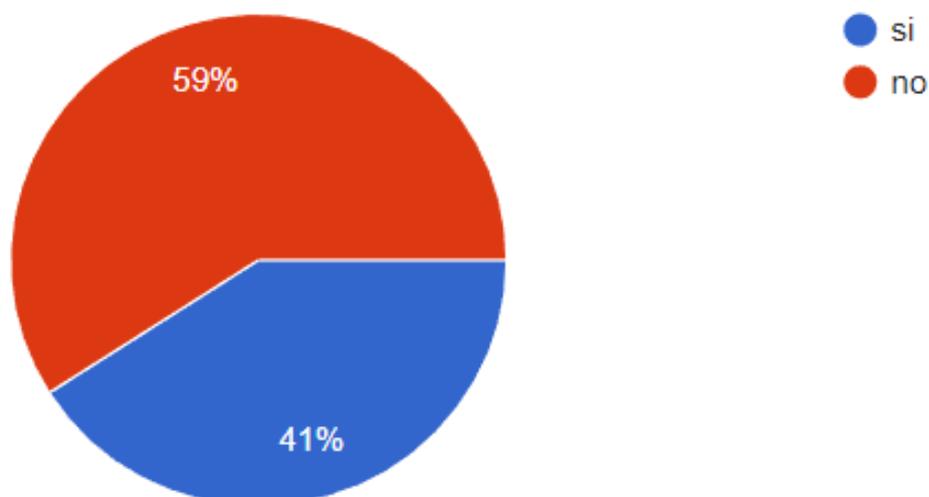


Figura 31. Uso de calefacción en unidades Fuente: Autor

Adquisición de datos de temperatura

Al realizar las adquisiciones de datos de temperatura exterior e interior en los buses; se utilizó 2 termohigrómetros, para visualizar la variación se determinó diferencia de temperaturas. En el recorrido de Riobamba a Quito y viceversa, se adquirió valores durante 6 meses, desde el mes de enero a junio, los días lunes y martes, en los horarios de 02h00 a 05h30 y de 06h00 a 09h30, un total de 24 días, Cada toma de datos se efectuó cada 6 minutos para poder visualizar de mejor manera su variación con un total de 37 tomas de datos para Riobamba a Quito. En la tabla 9 y 10, se visualizan valores obtenidos para un solo día, tanto para la ida, así como el retorno; además se establecieron valores mínimos y valores máximos.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 9. *Adquisición de datos Riobamba-Quito*

Riobamba-Quito				
Recorrido 02h00-05H30				
1	Hora	Temperatura externa	Temperatura interna	Diferencia
1	02h00	11	21,5	10,5
2	02H06	11,1	20	8,9
3	02H12	10,5	19,8	9,3
4	02H18	10	19,5	9,5
5	02H24	9	19,1	10,1
6	02H30	8,5	19	10,5
7	02H36	8	18,6	10,6
8	02H42	7,2	18,5	11,3
9	02H48	7	18,4	11,4
10	02H54	7,5	18,02	10,52
11	03H00	8	17,1	9,1
12	03H06	8,1	17,2	9,1
13	03H12	8,3	17,3	9
14	03H18	8,5	17,3	8,8
15	03H24	9	17,3	8,3
16	03H30	13,2	17,4	4,2
17	03H36	13,4	17,5	4,1
18	03H42	13,6	17,8	4,2
19	03H48	15,4	18	2,6
20	03H54	13,3	17,9	4,6
21	04H00	10,4	17,8	7,4
22	04H06	10,4	17,9	7,5
23	04H12	10,5	18	7,5
24	04H18	10,5	18,2	7,7
25	04H24	10,5	18,4	7,9
26	04H30	10,6	18,6	8
27	04H36	9	18,9	9,9
28	04H42	9,1	18,5	9,4
29	04H48	9,4	18,6	9,2
30	04H54	9,5	18,9	9,4
31	05H00	9,7	19,1	9,4
32	05H06	10,6	19,8	9,2
33	05H12	10,6	20	9,4
34	05H18	10,7	21,5	10,8
35	05H24	11	22,5	11,5
36	05H30	11,3	22,4	11,1
37	05H36	11,5	22,3	10,8
Valor Mínimo		7	17,1	2,6
Valor Máximo		15,4	22,5	11,5

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 10. Adquisición de datos Quito-Riobamba

Quito-Riobamba				
Recorrido 06h00-09h30				
2	Hora	Temperatura externa	Temperatura interna	Diferencia
1	06H00	9,9	21,5	11,6
2	06H06	10	20	10
3	06H12	10	19,8	9,8
4	06H18	10	19,5	9,5
5	06H24	10,2	19,1	8,9
6	06H30	10	19	9
7	06H36	9,9	18,6	8,7
8	06H42	9,8	18,5	8,7
9	06H48	10,2	18,4	8,2
10	06H54	10	18,02	8,02
11	07H00	10,2	17,1	6,9
12	07H06	10,3	17,2	6,9
13	07H12	10,2	17,3	7,1
14	07H18	10,4	17,3	6,9
15	07H24	10,6	17,3	6,7
16	07H30	10,6	17,4	6,8
17	07H36	10,7	17,5	6,8
18	07H42	10,8	17,8	7
19	07H48	11	18	7
20	07H54	11,4	17,9	6,5
21	08H00	11,5	17,8	6,3
22	08H06	12	17,9	5,9
23	08H12	12,3	18	5,7
24	08H18	12,4	18,2	5,8
25	08H24	12,8	18,4	5,6
26	08H30	13,1	18,6	5,5
27	08H36	13,4	18,9	5,5
28	08H42	9,5	18,5	9
29	08H48	10	18,6	8,6
30	08H54	10,5	18,9	8,4
31	09H00	11	19,1	8,1
32	09H06	11,8	19,8	8
33	09H12	12	20	8
34	09H18	12,5	21,5	9
35	09H24	13	22,5	9,5
36	09H30	13,1	22,4	9,3
37	09H36	13,4	22,3	8,9
Valor Mínimo		9,5	17,1	5,5
Valor Máximo		13,4	22,5	11,6

Fuente: Autor

Para resumir los valores adquiridos para la presente ruta, se consideró realizar un resumen de tablas, considerando valores mínimos, máximos de temperatura, datos que se pueden visualizar en la tabla 11.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 11. Resumen de medición de temperaturas Riobamba-Quito.

Frecuencia		Riobamba-Quito				Quito-Riobamba			
Mes	Día	Temperatura externa		Temperatura interna		Temperatura externa		Temperatura interna	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Enero	10	7	15,4	17,1	22,5	9,5	13,4	17,1	22,5
	11	9,4	10,6	17,1	22,5	9	12,4	16	19,8
	17	7	11,5	15,5	22,4	6,5	12,8	12,7	20,5
	18	3,2	9,2	13,7	20,4	0,2	12,7	14,4	20,5
	24	3,2	9,2	15,3	19,8	0,2	12	12,5	19,6
	25	2	10,5	14,3	24	4	12	16,3	25,1
	31	8,2	11,8	13,9	22,3	8	13,7	15,6	23
Febrero	1	6	11,5	16,5	23,9	7	12	16,5	24,7
	7	7	11,1	15,4	21,6	8	12	13,2	18,9
	8	7	11,9	18,3	24,3	9	13,1	19,3	24,9
	14	8	12,7	14,5	19,9	8,2	13,2	12,7	21
	15	7	11,8	18,3	25,1	8	13	17,9	23,5
	21	8	10,2	14,6	20	6	11,2	14,4	18,8
	22	7	10,9	17,8	23,3	6	11,2	16,7	21
	28	8,4	10,8	15,2	19,9	9	12,4	17,1	21,1
	1	7	11,6	17,7	22,3	8,1	12,6	19,3	24,3
	7	7,2	9,8	7	11,8	7	11,8	14,9	20,4
Marzo	8	7	10,4	17,5	23	8	13,2	16,3	23,6
	14	9	12,4	15,1	20,7	9	13	15,8	20,8
	15	8	10,7	17,5	21,5	7	13,2	16,8	21,6
	21	7	11,2	15,7	21,2	7	15,4	13,8	24,8
	22	8,5	11,8	15,9	22,1	7,7	13,4	15,1	21,9
	28	8	11	13,6	24,2	8,2	12,9	15,2	21,5
	29	9	12,9	14,4	22,7	9	13,4	16,2	21,8
	4	6,7	10	15	20,8	7	12,4	14,8	20,4
	5	7,7	13,4	15,1	24,1	6,7	10	14,3	20,5
	11	9	13,1	16	20	7	11,3	13,6	22
Abril	12	7,7	13,4	14,6	20,7	9	13,4	15,1	24,1
	18	8,4	12,8	13,1	20,7	9	13,1	14,4	22,5
	19	6	11,5	15,1	21	7	13,4	14,1	21,5
	25	6,8	11,6	14,2	19,4	7	13,6	13,9	21,1
	26	8	11,8	14,5	21	8,7	12,7	16,1	21
	2	6,4	11,7	11,2	20,6	8,5	12,6	15,4	21,4
	3	8	11,8	14,5	21,8	7	13,5	14,1	21,2
Mayo	9	10	12,2	17,4	22,2	9	15,4	18,3	25,4
	10	9,8	11,8	14,9	22,3	8,4	12,9	16,1	21,3
	16	8,9	11,5	16,2	24,1	8,2	14,9	16,6	22,5
	17	7	11,7	14,5	20,6	7	13,4	14,2	20
	23	7	11,2	15	23,1	7	15,4	14,2	24,4
	24	9,4	10,7	16,1	20,8	9	12,8	16,1	19,9
	30	9,7	10,8	16,7	21	10	13	16,7	20
	31	9,6	11	17	21,4	10,5	13,4	16,9	20
	6	8	10,8	13,9	22,9	6	11,7	14,3	19,4
	7	8,2	11,8	15,4	22,2	8	13,9	16	23
Junio	13	6,7	10	16,7	22,6	7	12,7	16,9	23,6
	14	6,8	11,6	15,5	22,3	7	13,6	15,4	22,7
	20	6,4	11,8	16,5	23,1	8,5	12,9	15,4	20,3
	21	6	11,5	14,7	21,6	7	13,8	14,2	21,6
	27	7	11,1	15,5	22,2	8	12,1	15,2	21,4
	28	8	11,8	13,7	21,3	8	13,8	15,2	21,3

Fuente: Autor

Al establecer los valores mínimos y máximos de la figura anterior, se realiza un promedio total de las 50 mediciones realizadas durante los 6 meses, aplicando la ecuación 7.

$$Promedio = \frac{\sum \text{mediciones}}{\text{número de mediciones}} \quad (7)$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Una vez realizada la sumatoria y la división para las mediciones se obtuvo valores, como se muestra en la tabla 12, el valor mínimo promedio de temperatura al exterior es de 7.45 °C y el máximo de 12.95 °C, a su vez el valor mínimo en el interior del autobús es de 15.3 °C y su valor máximo de 21.76 °C.

Tabla 12. Promedio total de temperaturas Riobamba-Quito y viceversa

Riobamba-Quito				Quito-Riobamba			
Temperatura externa (°C)		Temperatura interna (°C)		Temperatura externa (°C)		Temperatura interna (°C)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
7.45	11.47	15.30	21.70	7.50	12.95	15.47	21.76

Fuente: Autor

Para la ruta Riobamba-Cuenca y viceversa, se realizó una tabla similar, pero con una diferencia significativa de toma de datos, ya que la ruta es más extensa, con un total de 6 horas de viaje, en los horarios de 22h30-04h00 y de 04h15-09h45, los días sábados y domingos (tabla 13), en donde se generaron 56 adquisiciones, con valores máximos y mínimos.

Tabla 13. Datos temperaturas Riobamba-Cuenca

RIOBAMBA-CUENCA				CUENCA-RIOBAMBA			
1	Recorrido	22h30-04h00		2	Recorrido	04h15-09h45	
	Hora	Temp. Ext.	Temp. Int.		Hora	Temp. Ext.	Temp. Int.
1	22H30	11	18,9	1	04H06	12,4	21,5
2	22H36	10,8	18,7	2	04H12	12	20
3	22H42	10,5	18,6	3	04H18	11,8	19,8
4	22H48	10,4	18,4	4	04H24	11,6	19,5
5	22H54	10	18,4	5	04H30	11,4	19,1
6	23H00	9,7	18,9	6	04H36	11,4	19
7	23H06	9,4	18,7	7	04H48	11,2	18,6
8	23H12	9,2	18,4	8	04H54	11	18,5
9	23H18	9	18,4	9	05H00	10,9	18,4
10	23H24	8,4	18,02	10	05H06	10,7	18,02
11	23H30	8,2	17,1	11	05H12	10,8	17,1
12	23H36	8	17,2	12	05H18	11	17,2
13	23H42	7,3	17,3	13	05H24	11,2	17,3
14	23H48	7	17,3	14	05H30	11,9	17,3
15	23H54	9	17,3	15	05H36	11,8	17,3
16	00H00	9,2	17,4	16	05H42	11,7	17,4
17	00H06	9,2	17,5	17	05H48	11,5	17,5
18	00H12	9,4	17,8	18	05H54	11,0	17,8
19	00H18	9,5	18	19	06H00	11,0	18,0
20	00H24	9,4	17,9	20	06H06	10,8	17,9
21	00H30	9,2	17,8	21	06H12	10,7	17,8
22	00H36	9	17,9	22	06H18	10,2	17,9
23	00H48	8,9	18	23	06H24	10,0	18,0
24	00H54	8,8	18,2	24	06H30	9,8	18,2
25	01H00	8	18,4	25	06H36	9,9	18,4
26	01H06	8,2	18,6	26	06H48	9,4	18,6
27	01H12	8,1	18,9	27	06H54	9,2	18,9
28	01H18	8,3	18,5	28	07H00	9,0	18,5
29	01H24	8,4	18,6	29	07H06	9,1	18,6
30	01H30	8,9	18,9	30	07H12	9,8	18,9

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

31	01H36	9	19,1	31	07H18	10,0	19,1
32	01H42	9,2	19,8	32	07H24	10,2	19,8
33	01H48	9,4	20,0	33	07H30	10,4	20,0
34	01H54	9,8	21,5	34	07H36	10,5	21,5
35	02H00	11	22,5	35	07H42	10,7	22,5
36	02H06	10,2	22,4	36	07H48	10,8	22,4
37	02H12	10,6	22,3	37	07H54	11,0	22,3
38	02H18	10,7	21,6	38	08H00	11,4	22,1
39	02H24	11	21,8	39	08H24	11,6	22,0
40	02H30	10,9	22,0	40	08H30	11,8	22,5
41	02H36	10,7	22,2	41	08H36	10,7	22,3
42	02H48	10,6	22,4	42	08H48	11,4	22,1
43	02H54	10,4	22,6	43	08H54	11,3	22,0
44	03H00	10	22,8	44	09H00	11,0	21,5
45	03H06	9,8	23,1	45	09H06	10,8	21,2
46	03H12	9	23,3	46	09H12	10,7	21,0
47	03H18	9,4	23,5	47	09H18	10,6	20,0
48	03H24	9,8	23,7	48	09H24	11,0	21,2
49	03H30	10	23,9	49	09H30	11,4	21,6
50	03H36	10,4	23,5	50	09H36	11,8	21,8
51	03H42	10,8	23,4	51	09H42	12,4	21,9
52	03H48	11	23,0	52	09H48	12,9	22,0
53	03H54	11,5	22,5	53	09H54	13,7	22,1
54	04H00	12,4	22,6	54	10H00	14,2	22,1
V. MINIMO		7	17,1	V. MINIMO		9	17,1
V. MAXIMO		12,4	23,90	V. MAXIMO		14,2	22,50

Fuente: Autor

Para resumir los valores adquiridos para la presente ruta, se consideró realizar un resumen de tablas, considerando valores mínimos, máximos de temperatura, datos que se pueden visualizar en la tabla 14.

Tabla 14. Resumen de medición de temperaturas Riobamba-Cuenca.

Frecuencia		Riobamba-Cuenca				Cuenca-Riobamba			
Mes	Día	Temperatura externa		Temperatura interna		Temperatura externa		Temperatura interna	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Enero	14	7	12,4	17,1	23,9	9	14,2	17,1	22,5
	15	7	13,4	11,8	22,6	9	15,6	14,8	21,5
	21	6,6	12	13,6	22,3	8,6	13,8	14,3	23,6
	22	6,7	12,4	13,5	22,4	8,7	17	14,2	21,8
	28	6,2	11,6	12,1	21,4	8,4	14,9	13,5	21,4
	29	7	12,4	14,7	21,4	8,4	15	13,4	22,7
Febrero	4	5,8	11,2	11,2	20,3	8,7	13,7	11,8	19,7
	5	7	12,4	13,4	23,2	8,1	13,7	13,1	21,8
	11	5,4	10,8	11,1	19,3	8,9	15,2	11,2	21,1
	12	6,7	12,4	12,9	21,8	7,8	17,4	12,5	21,4
	18	5	10,4	11,6	20,5	9	13	11	18,5
	19	6,4	12,4	12,2	20,8	9	15	13,5	22
	25	4,6	10	10,6	17,6	8,6	13,9	9,6	19,2
Marzo	26	6,1	12,4	15,2	22,1	9	14,5	15,2	22,6
	4	7,5	12	12,6	19,7	8,2	12,9	12,3	19,8
	5	7	12,4	16	22,5	8,7	15	13,7	23,1
	11	7,1	12,1	11,3	19,5	7,8	12,5	11,9	21
	12	7	12,4	14,7	22,1	8,6	14,9	13,4	21,9
	18	6,7	11,4	11,4	20,2	7,4	12,4	11,4	19,3
	19	7	12,9	14,4	21,3	8,3	16,5	13,1	21,2
	25	6,3	12,4	10	20,3	9	14	13	20,3
Abril	26	7	12,9	12,9	21,8	8	15	12,8	21,8
	1	5,9	13	12,5	20,5	9	13,9	11,6	21,3
	2	7	12,5	12,6	22,9	7,7	12	12,5	22,3
	8	5,5	12,5	13,6	21,1	9	15,9	12,2	24,2
	9	7	12,9	14,3	23,9	7,4	17	12,2	22,1
	15	5,1	12,4	10,8	22,9	9	14,9	11,9	23,1
16	7	12,4	13	22,3	7,1	15	11,9	22,7	

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

	22	4,7	13	12,4	22,6	9	15,1	10,4	22,8
	23	7	12,8	17,1	25,06	6,8	15,8	11,6	23,2
	29	4,3	13,1	10	22,5	4,2	14	4,4	22,1
	30	7	13,3	12,4	22,2	6,5	13,7	11,3	23,2
	6	3,9	13,3	3,6	21,7	3,9	16	3,8	23,9
	7	7	13	13,1	23,7	6,2	14,8	11	23,4
	13	7	13,2	6,7	23,4	9,1	12,4	15,2	21,1
Mayo	14	7	12,4	11,8	23	8,7	15	14,8	22,3
	20	6,6	13,4	13,7	21,2	9	13,7	14,4	22,6
	21	7	12,4	14,8	21,7	8,4	15	14,5	23,9
	27	6,2	12,8	13	21,2	9	14,2	13,5	22,5
	28	7	12,4	14,5	23,9	9,1	13,7	15,2	22,3
	3	5,8	13,3	13,1	22,1	8,4	13,7	13	22,7
	4	7	12,4	15,2	22,2	9,8	14	15,9	21,5
	10	7	13,4	13,7	23,8	9	16	14,3	23,1
Junio	11	7	12,4	15,9	22,9	10,5	13,7	15,6	22,7
	17	6,7	12,5	14,7	24	9	13,7	13,7	21,9
	18	7	12,4	16,6	22,7	9	13,7	14,8	22,7
	24	7	12,7	14	22,8	8,7	15,4	13,7	23,6
	25	7	12,4	15,2	22,7	9	14,5	14,8	23,9

Fuente: Autor

El valor promedio de todas las mediciones realizadas en los 6 meses, se muestra a continuación en la tabla 15 , en donde se determina un valor mínimo de 6.45 °C en el exterior y un valor de 12.81 °C en el interior.

Tabla 15. Promedio de temperaturas Riobamba-Cuenca

Riobamba-Cuenca				Cuenca-Riobamba			
Temperatura externa		Temperatura interna		Temperatura externa		Temperatura interna	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
6,45	12,44	12,97	22,00	8,33	14,52	12,81	22,07

Fuente: Autor

Las temperaturas mínimas requeridas para realizar los cálculos tanto para Riobamba-Quito y Riobamba-Cuenca; en el interior y exterior (tabla 16), se determinará, al realizar un valor promedio entre los datos obtenidos, en donde se obtiene un valor de 7 °C para el exterior y 14 °C para la temperatura interna.

Tabla 16. Valor promedio de temperaturas mínimas

TEMPERATURA	T. EXTERIOR	T. INTERIOR
RIOBAMBA-QUITO	7,45	15,30
RIOBAMBA-CUENCA	6,4542	12,9708
PROMEDIO	6,9501	14,1344
VALOR APROXIMADO	7,0	14

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Determinación del flujo de calor

Para facilitar el análisis de cálculo, se dividió el bus en partes (figura 32) como: pared lateral, pared posterior, parte frontal, techo, para determinar el flujo de calor respecto a los materiales aislantes como la espuma de poliuretano y seguido con el poliestireno expandido.

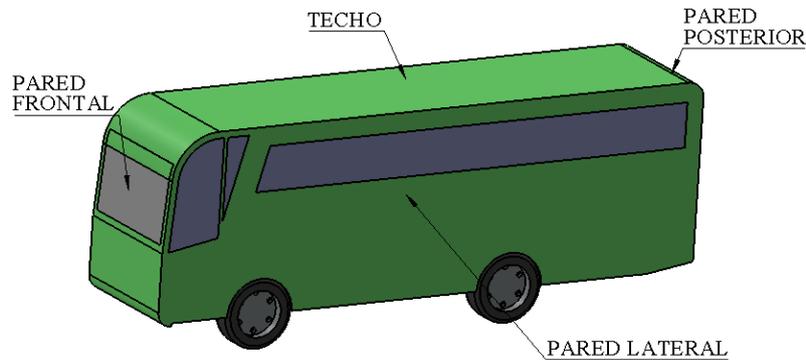


Figura 32. Seccionamiento del bus para cálculo térmico. Fuente: Autor

Flujo de calor con espuma de poliuretano

Pared lateral

La pared Lateral se halla compuesta por varios materiales, como se aprecia en la figura 33, está compuesta por fibra de vidrio, aislante, aire estancado, vidrio, aluzinc. Se establece valores mínimos de temperatura, tanto para el interior como para el exterior.

Para las consideraciones de la capa de aire en cada una de las partes seccionadas, se considera estancado se lo considera como una resistencia térmica más, para el análisis de transferencia de calor por conducción. (Yunus & Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

Para determinar el valor de resistencia térmica se requiere tener un espesor adecuado, en la espuma de poliuretano, el cual no posee una uniformidad adecuada por lo que se considera un valor de resistencia térmica en función del área $0.1224 \frac{m^2 \cdot K}{W}$. (Villar, 2015)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

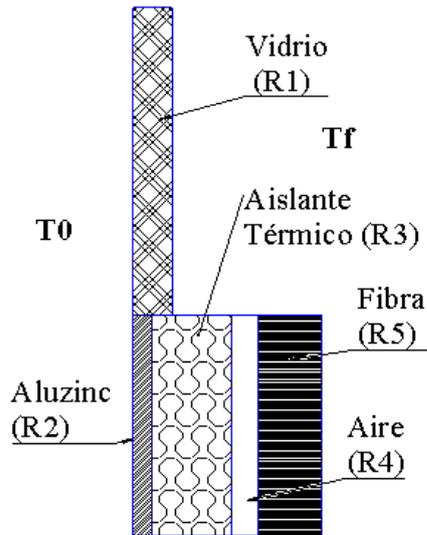


Figura 33. Pared lateral composición
Fuente: Autor

Se realiza una aclaración de la composición en cuanto a las resistencias térmicas R1 representa vidrio, R2 equivale a la lámina de aluminio (aluzinc), R3 representan al aislante térmico, R4 equivalen a la resistencia del aire, R5 equivale a la capa de fibra de vidrio, como se puede apreciar en la figura 34, el circuito térmico, se considera a las resistencias térmicas R3, R4, R5 ubicadas en serie, mientras que R1 y R2 se halla en paralelo.

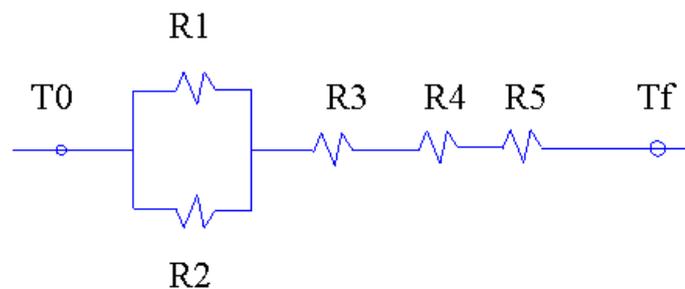


Figura 34. Circuito térmico lateral Fuente: Autor

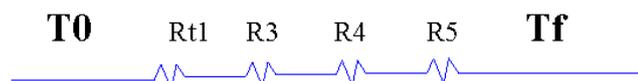


Figura 35. Resistencias en paralelo pared lateral
Fuente: Autor

Se aplica las ecuaciones de calor y de resistencia térmica según las ecuaciones para resolver las resistencias térmicas, cuyos valores se hallan detallados en la figura 35.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

$$R_t = \frac{e}{k * A}$$

Resistencia térmica para el vidrio

$$R1 = \frac{\left(\frac{6}{1000}\right) m}{0.95 \frac{W}{m * K} * 11.232 m^2}$$

$$R1 = 0.0005623 \frac{K}{W}$$

Resistencia térmica para el Aluzinc

$$R2 = \frac{\left(\frac{1}{1000}\right) m}{240 \frac{W}{m * K} * 33.26 m^2}$$

$$R2 = 1.2528 * 10^{-7} \frac{K}{W}$$

Como R1 y R2 en paralelo se realiza la sumatoria entre las dos.

$$R_{t1} = \frac{0.0005623 * 1.2528 * 10^{-7}}{0.0005623 + 1.2528 * 10^{-7}}$$

$$R_{t1} = 1.2524 * 10^{-7} \frac{K}{W}$$

Resistencia térmica del aire

$$R3 = \frac{0.1224 \frac{m^2 * K}{W}}{33.26 m^2}$$

$$R3 = 0,0036801 \frac{K}{W}$$

Resistencia térmica del aislante

$$R4 = \frac{\left(\frac{45}{1000}\right) m}{0.025 \frac{W}{m * K} * 32 m^2}$$

$$R4 = 0,05625 \frac{K}{W}$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Resistencia térmica de la fibra de vidrio

$$R5 = \frac{\left(\frac{4}{1000}\right)m}{0.22 \frac{W}{m * K} * 33.26 m^2}$$

$$R5 = 0,00054666 \frac{K}{W}$$

Tabla 17. Resistencias térmicas lateral del bus

ESPUMA DE POLIURETANO PARED LATERAL					
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Vidrio	6	0,95	11,232	0,0005623
R2	Aluzinc	1	240	33,26	1,2528E-07
R4	Aislante térmico	45	0,025	32	0,05625
R5	Fibra de vidrio	4	0,22	33,26	0,00054666
	Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire		0,1224	33,26	0,0036801

Fuente: Autor

Las resistencias R1 y R2 como se puede apreciar en la figura 34 están ubicadas en paralelo al resolver el resultado se denomina con Rt1 con el resultado obtenido entre estos valores se obtiene un valor de $1.252 * 10^{-7} \frac{K}{W}$, Con este resultado tanto Rt1, R3, R4, R5 están en serie como se puede apreciar en la figura 35 aplicando la ecuación 4 se suman los valores de resistencia térmicas en serie y paralelo al que se denomina como Rt.

$$Rt = Rt1 + R3 + R4 + R5$$

$$Rt = (1.252 * 10^{-7} + 0.05625 + 0.000547 + 0.00368) \frac{W}{K}$$

$$Rt = 0.0604 \frac{W}{K}$$

Al tener los valores calculados de la resistencia total se determina el flujo de calor usando la ecuación de Fourier, en donde flujo de calor será igual a la ecuación 3, permitiendo obtener un valor de q_k igual a 115.747 W.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

$$q_k = \frac{T_0 - T_f}{R_t}$$

$$q_k = \frac{(14 - 7)^\circ k}{0.0604 \frac{^\circ k}{W}}$$

$$q_k = 115.747 W$$

El valor expresado viene a ser el flujo de calor para un lateral, se debe recordar que son 2 paredes laterales por lo que se duplica el valor determinado en q_k .

$$q_{lateral} = q_k * 2$$

$$q_{lateral} = 115.747 * 2 W$$

$$q_{lateral} = 231.49 W$$

Pared posterior

La pared posterior está compuesta por una capa de fibra, aislante térmico, aire, y fibra, como se puede apreciar en la figura 36.

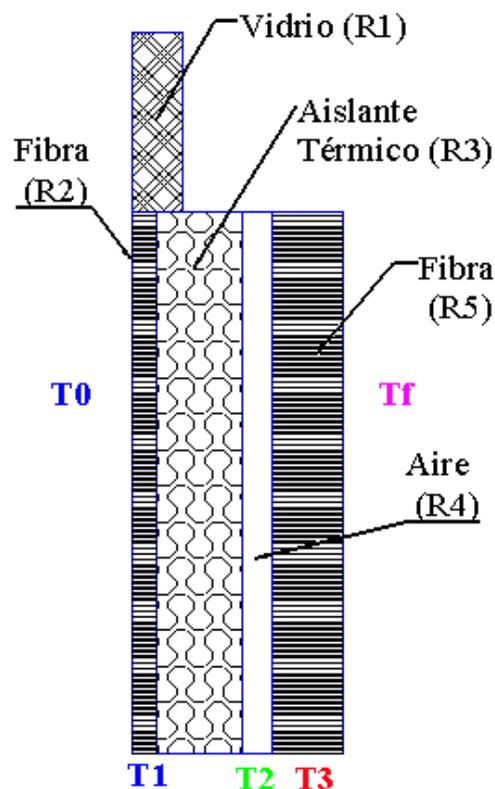


Figura 36. Pared posterior composición
Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

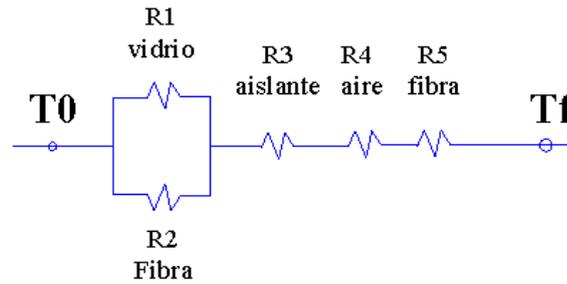


Figura 37. Circuito de resistencias pared posterior
Figura: Autor

El circuito térmico, será similar al realizado para las paredes laterales, pero se realiza una aclaración de la composición en cuanto a las resistencias térmicas R1 equivale a vidrio, a R2 y R5 fibra de vidrio, R3 representa al aislante térmico, R4 equivale a la resistencia del aire, los resultados de los cálculos se pueden visualizar en la tabla 18.

Tabla 18. Resistencias pared posterior

PARED POSTERIOR					
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (w/m*k)	Área (m2)	Resistencia térmica (k/w)
R1	Vidrio	8	0,95	2,53	0,00333
R2	Fibra parte exterior	6	0,22	7,41	0,00368
R4	Aislante térmico	45	0,025	7,41	0,24291
R5	Fibra de vidrio interior	4	0,22	7,41	0,00245
Material			Resistencia (m2*K/W)	Área (m2)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire		0,1224	7,41	0,01651822

Fuente: Autor

Para determinar la sumatoria de las paredes, se repite el proceso anterior, al realizar sumatorias en paralelo y en serie; los valores de resistencia térmica calculado para cada una de las partes de la pared posterior se aprecian en la tabla 18, la sumatoria de las resistencias R1, R2 ubicadas en paralelo denominado como R_{t1} , su valor es $0.0017478 \frac{K}{W}$, del mismo modo las resistencias R_{t1}, R_3, R_4, R_5 está en serie con un valor total de $0.26363 \frac{K}{W}$, al aplicarse la ecuación de Fourier para determinar el flujo de calor con los valores de temperatura señalados en los resultados obtenidos con un valor de $26.552 W$ al que se le denominará como un $q_{pared posterior}$.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Pared frontal

Del mismo modo, la parte frontal está compuesta por capas de fibra, aislante, aire y por vidrio (figura 38); del mismo modo el circuito de resistencias térmicas consta de resistencias térmicas en serie y paralelo.

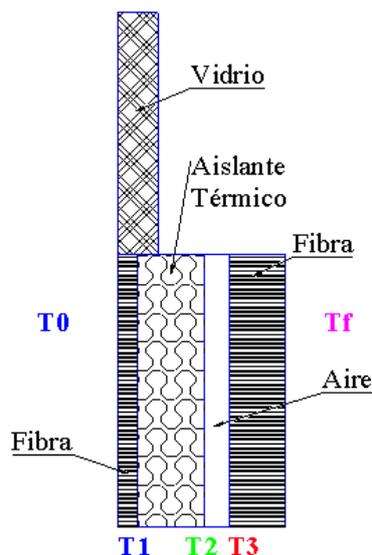


Figura 38. Pared frontal composición
Fuente: Autor

Los resultados de resistencias térmicas se presentan en la tabla 19, para determinar la sumatoria de las paredes, se repite el proceso anterior, al realizar sumatorias en serie y en paralelo; por lo que la sumatoria resistencias R1, R2 ubicadas en paralelo denominado como Rt1, su valor es $0.0009694 \frac{K}{W}$, del mismo modo las resistencias Rt1,R5,R4 está en serie con un valor total de $0.93176 \frac{K}{W}$, al aplicarse la ecuación de Fourier para determinar el flujo de calor con los valores de temperatura señalados en los resultados obtenidos con un valor de $7.513 W$ al que se le denominará como un $q_{pared\ frontal}$.

Tabla 19. Resistencias parte frontal

FACHADA FRONTAL					
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m2)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Vidrio	8	0,95	4,403	0,00191
R2	Fibra exterior	4	0,22	9,25	0,00197
R4	Aislante inferior	45	0,025	2	0,90000
R5	Fibra parte interior	4	0,22	3	0,00606
Material			Resistencia (m2*K/W)	Área (m2)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire parte interior inferior		0,1224	4,95	0,02473

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Techo:

Está constituido por capas de fibra de vidrio, aislamiento térmico, aire además la dirección de flujo de calor, como lo muestra la figura 39.

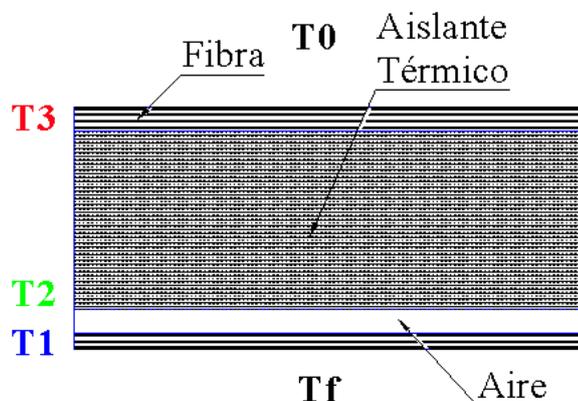


Figura 39. Techo composición.
Fuente: Autor

Para el cálculo por transferencia de calor, se considera el circuito de resistencias térmica ubicadas en serie (figura 40), por lo que R1 y R4 representan la fibra de vidrio, R2 aislante térmico y R3 representa la capa de aire entre el aislante y la capa de fibra.

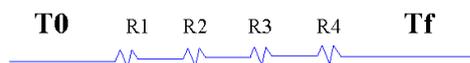


Figura 40. Circuito térmico techo
Fuente: Autor

El resultado de los valores de resistencia térmica, se muestran en la tabla 20, al sumar estos valores dan un total de $0.054 \frac{K}{W}$.

Tabla 20. Resistencia térmica techo

TECHO					
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Fibra parte exterior	6	0,22	35,88	0,00076011
R2	Aislante térmico	45	0,025	35,88	0,05016722
R4	Fibra parte interior	4	0,22	35,88	0,00050674
Material			Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire parte interior		0,1224	35,88	0,00341137

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Para calcular el flujo de calor en la pared con las temperaturas establecidas se obtiene un valor al que se denominará q_{techo} de 127.63 W.

Al sumar cada uno los valores adquiridos se obtendrá un valor de flujo de calor, el cual es el que se está manejando a condiciones críticas de temperatura, en la tabla 21, se obtuvo un valor total de flujo de calor de 393.189 W.

Tabla 21. *Flujo de calor total*

Flujo de calor	Valor (W)
Paredes laterales	231,493
Pared posterior	26,552
Pared frontal	7,513
Techo	127,631
Total	393,189

Fuente: Autor

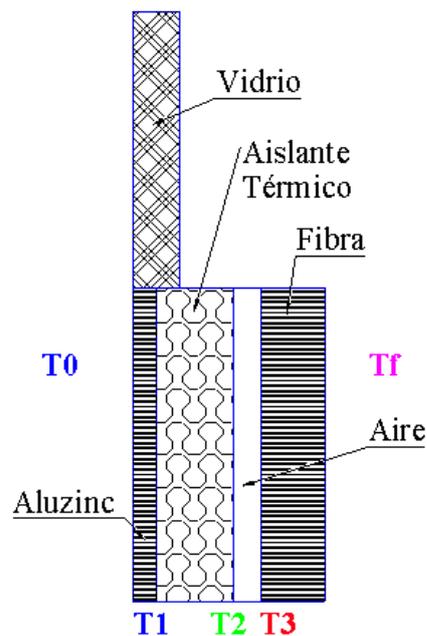
Flujo de calor a temperatura ideal de confort

Según norma ISO-7730, para las condiciones de confort recomendado, en el apartado D, la temperatura ideal debe estar entre 20 y 24 °C, para el interés de estudio será considerar una temperatura de 22 °C. Para lo cual se determinó el proceso de determinación de espesor de aislante.

Determinación de espesor de aislante

Para calcular los espesores es necesario realizar algunas consideraciones para la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido, como el coeficiente de conductividad (k); los valores de temperaturas en las secciones del aislante, el área donde se halla ubicado el aislante, y el calor generado en cada una de las secciones (paredes laterales, pared posterior, pared frontal, techo).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Espesor pared lateral**Figura 41.** Pared lateral análisis de temperaturas

Fuente: Autor

En la figura 41, se puede apreciar distintas temperaturas, para lo cual es necesario aplicar la ecuación de Fourier, para cada sección, los valores de temperaturas se muestran en la tabla 22.

$$q = \frac{Tf - T3}{R5}$$

$$T3 = Tf - q * R5$$

$$T2 = T3 - q * R3$$

$$T1 = T0 - q * R1$$

Tabla 22. Temperaturas pared lateral

TEMPERATURAS	VALOR °C
TF	22
T3	21,937
T2	21,511
T1	13,511
T0	7

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Para determinar el espesor de aislante en las paredes laterales, se requiere los valores de T_1 , T_2 ; a su vez el valor de conductividad térmica ($0.025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) del aislante, el área donde se va aplicar (32 m^2), y el calor generado en cada una de las secciones calculadas (115.747 W), para el resultado que se mostrara a continuación, se consideraron parámetros de la pared lateral, el espesor calculado se designará como $e_{\text{pared lateral}}$.

$$q = \frac{T_2 - T_1}{\frac{e}{k * A}}$$

$$e = \frac{(T_2 - T_1) * k * A}{q}$$

$$e_{\text{pared lateral}} = \frac{(21.511 - 13.511) * 0.0025 * 32}{115.747} \text{ m}$$

$$e_{\text{pared lateral}} = 0.055293 \text{ m}$$

$$e_{\text{pared lateral}} = 55.293 \text{ mm}$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

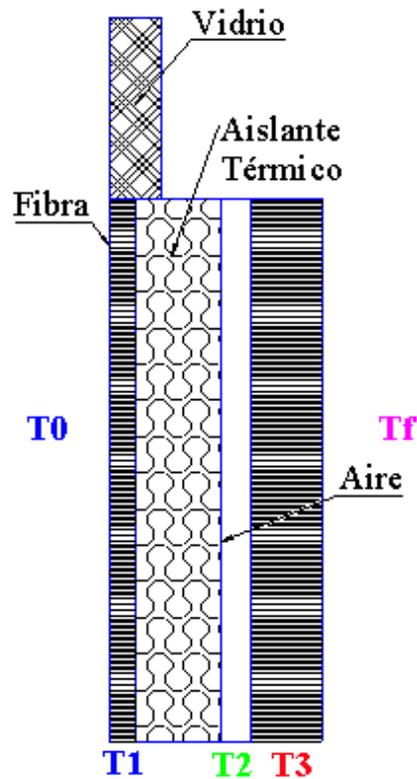
Espesor pared posterior

Figura 42. Pared posterior análisis de temperaturas
Fuente: Autor

Al igual que el cálculo anterior en la figura 42, se muestran las temperaturas que van a influir en la determinación del cálculo del espesor para esta sección, a su vez se aplicó la ecuación de Fourier tanto para el espesor como las temperaturas (tabla 23), los valores que influyen son las temperaturas T1, T2; el valor de espesor calculado es 55.456 mm

Tabla 23. Temperaturas pared frontal

TEMPERATURAS	VALOR °C
TF	22
T3	21,954
T2	21,496
T1	13,548
T0	7

Fuente: Autor

$$q = \frac{T2 - T1}{\frac{e}{k * A}}$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

$$e = \frac{(T2 - T1) * K * A}{q}$$

$$e = \frac{(21.496 - 13.548) * 0.0025 * 7.41}{26.552} \text{ m}$$

$$e = 0.055 457 \text{ m}$$

$$e_{\text{pared lateral}} = 55.457 \text{ mm}$$

Pared frontal

Para pared frontal, tiene el mismo principio de cálculo (figura 43), por lo que el valor de temperaturas ver tabla 24, y el valor de espesor será igual a 53.19 mm

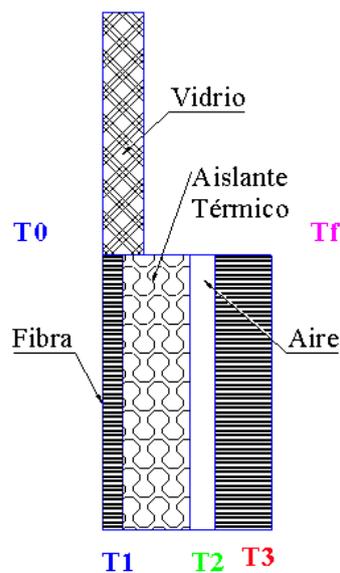


Figura 43. Pared frontal análisis de temperaturas

Fuente: Autor

Tabla 24. Temperaturas pared frontal

Temperaturas	Valor
TF	22
T3	21,954
T2	21,769
T1	7,993
T0	13,776

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Techo

Los datos que influyen para determinar el valor de espesor (figura 44), como ya se aclaró son la conductividad térmica k ($0.025 \text{ W/m}^*\text{K}$) del aislante, el área donde se va aplicar (35.88 m^2), y el calor generado en cada una de las secciones calculadas es de 127.631 W , se obtiene un valor de 53.1644 mm .

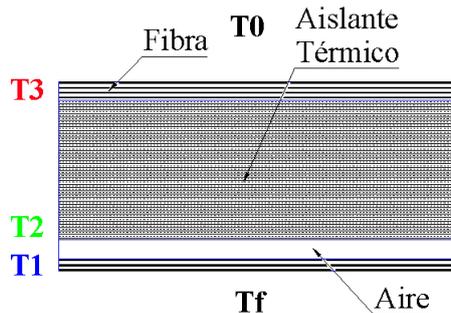


Figura 44. Techo análisis de temperaturas
Fuente: Autor

Tabla 25. Techo temperaturas

Temperaturas	Valor
TF	22
T3	21,500
T2	21,065
T1	13,500
T0	7

Fuente: Autor

Se requiere un espesor de aislante uniforme para todas las secciones en donde se aplique la espuma de poliuretano por lo que es necesario calcular un espesor promedio, en la tabla 26, se obtiene un valor de 55.38 mm , realizando una aproximación de 55 mm .

Tabla 26. Promedio espesor

Partes de la carrocería	Espesor (mm)
Pared lateral	55,2932
Pared lateral	55,2932
Techo	56,9062
Pared posterior	56,1390
Fachada frontal	53,2917
Promedio	55,3847

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Flujo de calor con poliestireno expandido

El procedimiento para obtener el flujo de calor en cada sección es el mismo de la espuma de poliuretano, en la producción nacional, se aplica el aislante en las carrocerías con un espesor de 40 mm con un coeficiente de conductividad de $0.033 \frac{W}{m \cdot K}$; los valores de temperaturas aplicados para el cálculo son de $7^{\circ}C$ y de $14^{\circ}C$, tanto para el exterior como para el interior de la carrocería respectivamente; a continuación, se presentaran las tablas 27,29,31,33 en donde se halla los valores de resistencias térmicas, los mismo que servirán para obtener el flujo de calor total.

Pared lateral

Las resistencias térmicas del circuito de la pared lateral se representan en la tabla 27; las resistencias térmicas de vidrio (R1) y aluzinc (R2) están en paralelo, su sumatoria es igual a $1.25248 * 10^{-7} \frac{^{\circ}K}{W}$, al sumar las resistencias que están en serie dan como resultado $0.0421 \frac{K}{W}$, un valor total de calor de $166.248 W$, como son dos paredes su valor es el doble $332.4968 W$.

Tabla 27. Resistencias térmicas para pared lateral

N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Vidrio	6	0,95	11,232	0,000562303
R2	Aluzinc	1	240	33,26	1,25276E-07
R4	Aislante térmico	40	0,033	32	0,037878788
R5	Fibra de vidrio	4	0,22	33,26	0,000546657
	Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire parte inferior		0,1224	33,26	0,003680096

Fuente: Autor

Para determinar el espesor de aislante es necesario, los valores de temperaturas entre las capas de los materiales que componen la pared lateral, al aplicar la ecuación de Fourier (Tabla 28). Se aprecia los valores de temperaturas y además el cálculo del nuevo espesor de aislante.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 28. *Temperaturas y espesor de pared lateral poliestireno expandido*

Temperaturas				Espesor	
IDEAL Tf	FIBRA T3	AIRE T2	FIBRA T1	nuevo espesor (m)	espesor mm
22	21,90911911	21,29730898	13,29728816	0,050815657	50,815657

Fuente: Autor

Pared posterior

Las paredes tienen un conexión combinada en paralelo y en serie por lo que las paredes que se hallan en serie tanto R1 y R2, tienen como resultado a $0.00174783 \frac{K}{W}$, al sumar las resistencias en serie dan como resultado $0.1843 \frac{K}{W}$ (Tabla 29), un valor total de calor de 37.982 W.

Tabla 29. *Resistencias pared posterior poliestireno expandido*

N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Vidrio	8	0,95	2,53	0,00333
R2	Fibra parte exterior	6	0,22	7,41	0,00368
R4	Aislante térmico	40	0,033	7,41	0,16358
R5	Fibra de vidrio	4	0,22	7,41	0,00245
Material			Resistencia (m ² K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R3	Aire parte inferior		0,1224	7,41	0,016518219

Fuente: Autor

Al determinar el espesor de aislante se requirió el cálculo de las temperatura intermedias en las capas del mismo (tabla 30), con un espesor de 51.932 mm.

Tabla 30. *Temperaturas y espesor pared posterior con poliestireno expandido*

Temperaturas				Espesor	
IDEAL Tf	FIBRA T3	AIRE T2	FIBRA T1	nuevo espesor (m)	espesor mm
22	21,90680459	21,27941309	13,21302732	0,05193208	51,93208

Fuente: Autor

Pared frontal

Para el cálculo de resistencias térmicas, están ubicadas en paralelo y serie poseen la misma configuración que las anteriormente señaladas en el que el valor de R1 y R2 tienen un valor de resultado a $0.00096936 \frac{K}{W}$, al sumar las resistencias en serie dan como resultado

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

0.63782 $\frac{K}{W}$ (Tabla 31), un valor total de calor de 10.975 W. Los valores de temperaturas y el espesor se aprecian en la Tabla 32.

Tabla 31. Valores de resistencias térmicas para pared frontal.

N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)
R1	Vidrio	8	0,95	4,403	0,00191
R2	Fibra exterior inferior	4	0,22	9,25	0,00197
R4	Aislante inferior	40	0,033	2	0,60606
R5	Fibra parte interior	4	0,22	3	0,00606
Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	
R3	Aire parte interior inferior	0,1224	4,95	0,02473	

Fuente: Autor

Tabla 32. Temperaturas y espesor pared frontal con poliestireno expandido

Temperaturas				Espesor	
Ideal Tf	Fibra T3	Aire T2	Fibra T1	Nuevo espesor (m)	espesor mm
22	21,9334	21,6621	13,6514	0,0481	48,1736

Fuente: Autor

Techo

En la Tabla 33 se aprecia, los valores totales de resistencias térmicas calculadas, los valores de temperaturas, el valor de calor generando, y el espesor con un valor de 52.94 mm

Tabla 33. Valores totales para techo con poliestireno expandido

TECHO										
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Resistencia total serie	Temperaturas (°C)		Diferencia	Calor
R1	Fibra exterior	6	0,22	35,88	0,000760	0,038460863	14	7	7	182,003
R2	Aislante térmico	40	0,033	35,88	0,033782					
R4	Fibra interior	4	0,22	35,88	0,0005067					
						TEMPERATURAS			ESPESOR	
Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Ideal Tf	Fibra t3	Aire t2	Fibra t1	Nuevo espesor (m)	Espesor mm
R3 Aire parte interior		0,1224	35,88	0,0034113	22	21,91	21,29	13,15	0,05	52,94

Fuente: Autor

Para considerar un espesor uniforme y estándar cuando se aplique el poliestireno expandido como material aislante es necesario determinar un valor promedio de todas las

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES
paredes (Tabla 34), con un valor total de 50.9364 mm, para lo sería recomendable aplicar un espesor de 50 mm.

Tabla 34. Promedio espesor poliestireno expandido

Partes de la carrocería	Espesor (mm)
Pared lateral 1	50,8157
Pared lateral 2	50,8157
Techo	52,9448
Pared posterior	51,9321
Fachada frontal	48,1737
Promedio	50,9364

Fuente: Autor

Recalculo de flujo de calor con nuevos espesores de aislante

En las figuras a continuación se hizo el cálculo de flujo de calor a cada una de las partes que poseen aislante térmico con los espesores respectivos aislantes calculados, es decir para la espuma de poliuretano con un espesor de 55 mm y para el poliestireno expandido (espumaflex) 50 mm.

Recalculo de flujo de calor para espuma de poliuretano

Pared lateral

El valor de flujo de calor con el espesor de 55 mm, determina un flujo de calor de 95.921 W en una pared lateral, si se considera para las dos , es un total de 191.841 W ver Tabla 35.

Tabla 35. Flujo de calor con espesor de 55 mm, espuma de poliuretano

PARED LATERAL								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	inversas	totales	resistencia serie
R1	Vidrio	6	0,95	11,232	0,000562303	1778,4		
R2	Aluzinc	1	240	33,26	1,25276E-07	7982400	1,252E-07	0,0729769
R4	Aislante térmico	55	0,025	32	0,06875		temperaturas	diferencia
R5	Fibra	4	0,22	33,26	0,000546657	14		calor
	Material		Resistencia (m²*K/W)	Área (m²)	Resistencia Térmica (K/W)	7	7	95,921
R3	Aire parte inferior		0,1224	33,26	0,003680096	Calor total		191,84158

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Pared posterior

El valor en cálculo de las pared posterior respecto a resistencias es de $0.3176 \frac{K}{W}$, y el flujo es de $22.039 W$, ver Tabla 36.

Tabla 36. Resistencia térmica, flujo de calor, pared posterior con espuma de poliuretano

PARED POSTERIOR								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Inversas	Resistencia paralelo	Resistencia serie
R1	Vidrio	8	0,95	2,53	0,00333	300,4375		
R2	Fibra exterior	6	0,22	7,41	0,00368	271,7	0,001747832	0,31762
R4	Aislante térmico	55	0,025	7,41	0,29690		Temp. diferencia	calor
R5	Fibra de vidrio	4	0,22	7,41	0,00245	14		
	Material		Resistencia (m²*K/W)	Área (m²)	Resistencia Térmica (K/W)	7	7	22,039
R3	Aire parte inferior		0,1224	7,41	0,016518219			

Fuente: Autor

Pared frontal

El valor en cálculo de las pared frontal respecto a resistencias es de $1.13176 \frac{K}{W}$, y el flujo es de $6.185 W$ ver tabla 37.

Tabla 37 . Resistencias térmicas, flujo de calor pared frontal con espuma de poliuretano

FACHADA FRONTAL								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Inversas	Totales	Resistencia serie
R1	Vidrio	8	0,95	4,403	0,00191	522,85625		
R2	Fibra exterior	4	0,22	9,25	0,00197	508,75	0,000969	1,13176
R4	Aislante	55	0,025	2	1,10000		Temp. Diferencia	Calor
R5	Fibra interior	4	0,22	3	0,00606	14		
	Material		Resistencia (m²*K/W)	Área (m²)	Resistencia Térmica (K/W)	7	7	6,185
R3	Aire		0,1224	4,95	0,02473			

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Techo

El valor en cálculo para el techo (Tabla 38), respecto a resistencias es de $0.06599 \frac{K}{W}$, con valores de temperatura de 14 °C para la parte interior y 7°C para la parte exterior del bus y el flujo es de 106.07 W

Tabla 38. Resistencia térmica. flujo de calor Techo

TECHO						
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m2)	Resistencia Térmica (K/W)	Resistencia total serie
R1	Fibra parte exterior	6	0,22	35,88	0,0007601	0,065993716
R2	Aislante térmico	55	0,025	35,88	0,0613154	temperaturas
R4	Fibra parte interior	4	0,22	35,88	0,0005067	14 7
	Material		Resistencia (m2*K/W)	Área (m2)	Resistencia Térmica (K/W)	diferencia calor
R3	Aire parte interior		0,1224	35,88	0,003411371	7 106,07

Fuente: Autor

Al realizar la sumatoria de todos los valores de flujo (paredes laterales, pared posterior, pared frontal, techo), en la Tabla 39 se obtiene un valor de 326.137 W

Tabla 39. Flujo de calor total

Flujo de calor	Valor (W)
Paredes laterales	191,842
Pared posterior	22,039
Pared frontal	6,185
Techo	106,071
Total	326,137

Fuente: Autor

Recalculo de flujo de calor poliestireno expandido**Pared lateral**

El valor en cálculo de las pared lateral (Tabla 40), respecto a resistencias es de $0.05158 \frac{K}{W}$, y el flujo es de 271.447 W

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 40. Calor y espesor de aislante pared lateral con poliestireno expandido

PARED LATERAL								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Resistencia inversa	R. Paralelo	Resistencia Total (K/W)
R1	Vidrio	6	0.95	11.232	0.000562303	1778.4	1.25E-07	0.05158
R2	Aluzinc	1	240	33.26	1.25276E-07	7982400		
R4	Aislante térmico inferior	50	0.033	32	0.0473484	Temperaturas °C	diferencia	Calor (W)
R5	Fibra de vidrio	4	0.22	33.26	0.000546657			
	Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	14	7	135.724
R3	Aire parte inferior		0.1224	33.26	0.003680096	Paredes laterales		271.447

Fuente: Autor

Pared posterior

El valor en cálculo de la pared posterior respecto a resistencias (Tabla 41), es

de $0.2251 \frac{K}{W}$, y el flujo es de $31.084 W$.

Tabla 41. Resistencia térmica, flujo de calor para pared posterior

PARED POSTERIOR								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	inversas	R. Paralelo	Total
R1	Vidrio	8	0,95	2,53	0,00333	300,4375		
R2	Fibra exterior	6	0,22	7,41	0,00368	271,7	0,001747832	0,2252
R4	Aislante térmico	50	0,033	7,41	0,20447	temperaturas	diferencia	calor
R5	Fibra de vidrio	4	0,22	7,41	0,00245			
	Material		Resistencia (m ² *K/W)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	14	7	31,084
R3	Aire parte inferior		0,1224	7,41	0,016518219	7		

Fuente: Autor

Pared frontal

El valor en cálculo de la pared frontal (Tabla 42), respecto a resistencias térmicas

ubicadas en paralelo $0.000969 \frac{K}{W}$ al ubicarlas con las de más en serie su valor es de es

de $0.7893 \frac{K}{W}$, y el flujo de calor es de $8.868 W$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tabla 42. Resistencia térmica, flujo de calor pared frontal

FACHADA FRONTAL								
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Inversas	R. Paralelo	Total
R1	Vidrio	8	0,95	4,403	0,00191	522,85625		
R2	Fibra exterior	4	0,22	9,25	0,00197	508,75	0,000969362	0,7893
R4	Aislante inferior	50	0,033	2	0,75758		Temperaturas	Diferencia
R5	Fibra interior	4	0,22	3	0,00606			Calor
	Material		Resistencia (m²*K/W)	Área (m²)	Resistencia Térmica (K/W)	14	7	8,868
R3	Aire parte interior		0,1224	4,95	0,02473	7		

Fuente: Autor

Techo

El valor en cálculo para el techo (Tabla 43), respecto a los valores de resistencias térmicas ubicadas en serie es de $0.0469 \frac{K}{W}$, y el flujo de calor es de $149.2329 W$.

Tabla 43. Resistencia térmica, flujo de calor para Techo

TECHO							
N	Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)	Área (m ²)	Resistencia Térmica (K/W)	Resistencia total serie	
R1	Fibra exterior	6	0,22	35,88	0,000760109	0,0469	
R2	Aislante térmico	50	0,033	35,88	0,042228303	temperaturas	
R4	Fibra interior	4	0,22	35,88	0,00050674	14	
	Material		Resistencia (m²*K/W)	Área (m²)	Resistencia Térmica (K/W)	diferencia	calor
R3	Aire parte interior		0,1224	35,88	0,003411371	7	149,2329

Fuente: Autor

Para determinar el nuevo valor de flujo de calor al sumar todos valores de flujo de calor (Tabla 44) con un total de $460.633 W$.

Tabla 44. Sumatorio total de flujo de calor techo

Flujo de calor	Valor (W)
Paredes laterales	271,447
Pared posterior	31,084
Pared frontal	8,868
Techo	149,233
Total	460,633

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Potencia Calorífica

Con las dimensiones interiores del bus y el área se puede determinar la potencia calorífica.

$$Potencia = AxBxCxDx85 \quad \text{Ecuación 7.}$$

A = Espacio a calentar ,el área interna del bus con un valor de $148.457 \text{ m}^2 \approx 150 \text{ m}^2$

B = Orientación, con una condición extrema con un coeficiente de 1.12

C = Aislamiento, el coeficiente de 1 para un aislamiento sencillo

D = Zona climática, con un coeficiente de 1.19

$$Potencia = 150 * 1.12 * 1 * 1.19 * 85$$

$$Potencia = 16\,993.2 \text{ W}$$

$$Potencia = 17 \text{ kW}$$

Consumo de combustible

En cada uno de los viajes realizados, se hizo una comparación del consumo de combustible sin prender el sistema de calefacción en el tramo de Riobamba-Quito y retorno con un valor de \$25 dólares americanos y cuando esta encendido el sistema de calefacción un consumo de \$30. En relación del tramo Riobamba-Cuenca y retorno, un consumo sin encender la calefacción de \$50 pero al encender se incrementa en \$10 su valor. En relación a cantidad de combustible representa 5 galones para la primera comparación y de 10 galones; el precio de combustible en Ecuador es de \$1.02 dólares por cada galón.

Simulación térmica del bus

Para poder realizar la simulación del bus, se modeló la carrocería con los parámetros establecidos bajo norma INEN, con el uso del software NX, para seguido realizar la simulación mediante el software ANSYS free student, mediante el sistema de análisis de Transient Thermal.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Modelado de bus

Para realizar la simulación se requiere las dimensiones establecidas por el autor (figura 45) las cuales están bajo norma INEN 2656, además se consideró en el modelado el área donde se hallan ubicados los aislantes (área de los pasajeros); para cada modelo se varió su aplicación de capa interior, lo que correspondería a los distintos espesores de aislantes tanto para la aplicación de espuma de poliuretano 45 y 55 mm y para poliestireno expandido 40 y 50 mm

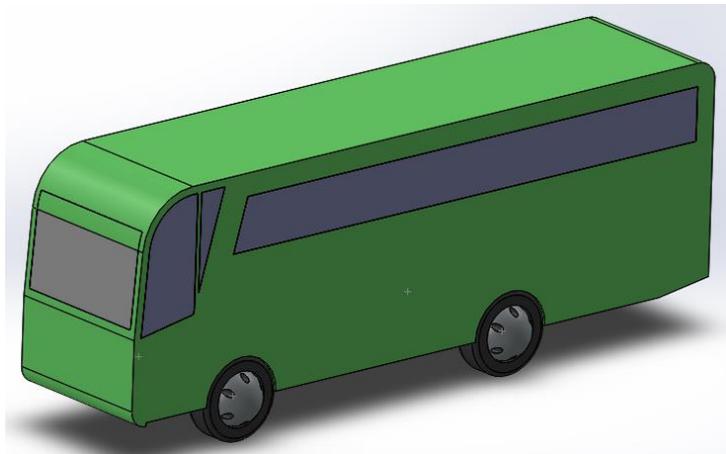


Figura 45. Modelado del bus Fuente: Autor

Para poder realizar la simulación de transferencia de calor, respecto a los aislantes térmicos es necesario dibujar la parte de la cabina (figura 46), es decir la parte que contiene la espuma de poliuretano y poliestireno expandido.

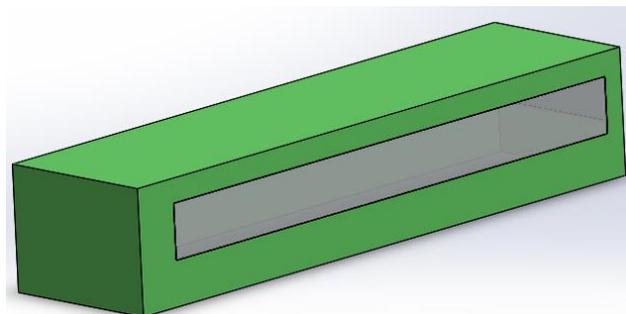


Figura 46. Modelo parte con aislante térmico Fuente: Autor

Simulación térmica del modelo

Una vez realizado el modelo del bus con las respectivas dimensiones; se simula en software ANSYS free Student, el modelo debe estar guardado en formato STEP, para poder

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES exportarlo al software, además de ubicar las propiedades de los dos aislantes como la densidad, conductividad térmica, calor específico, temperaturas y los valores de calor generado para cada uno de los modelos; se consideró un tiempo general para todas las condiciones de 5700 segundos; a continuación se detallará los pasos tanto para la el poliestireno expandido como para la espuma de poliuretano.

Simulación para poliestireno expandido con espesor de 40 mm calor

- Primero se debe cargar el modelo con espesor de 40 milímetros en formato STEP al programa de ANSYS free student.
- Además, la opción que se va a seleccionar la opción Transient Thermal, el cual va a permitir ingresar todas las propiedades necesarias (figura 47).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

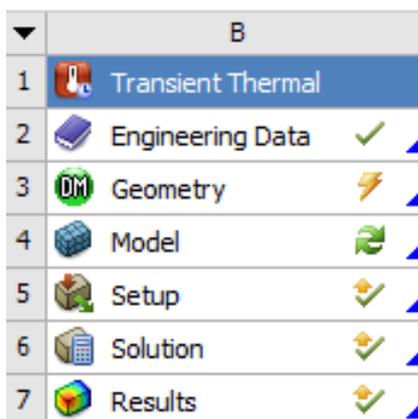


Figura 47. Opción para análisis térmico

Fuente: Autor

- Para el caso de simulación se introduce las propiedades de los materiales como material aislante y del vidrio como la densidad, conductividad térmica, calor específico, conductividad térmica de $0.033 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$, una densidad de $30 \frac{kg}{m^3}$, un calor específico de $2.1 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, (figura 48).

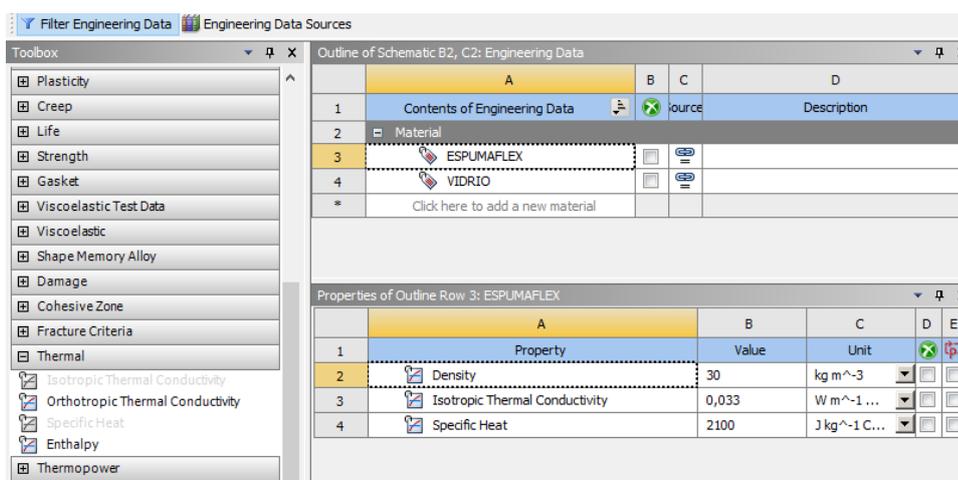


Figura 48. Propiedades de la espuma de poliuretano y del vidrio Fuente: Autor

- Al establecer cada una de las propiedades, se procede a mantener conexión ya con el módulo de Transient Thermal (figura 49).

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

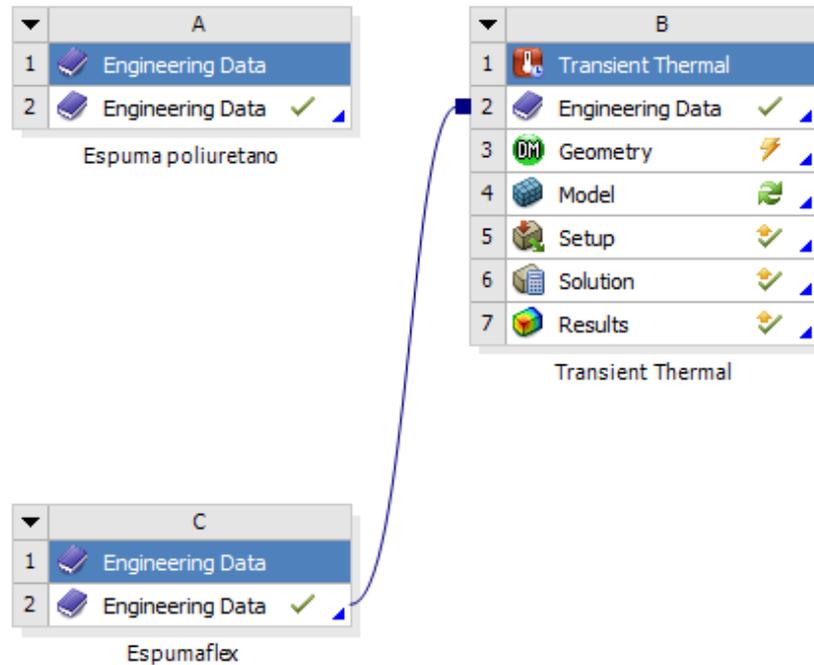


Figura 49. Conexión ente las propiedades del material con Transient Thermal
Fuente: Autor

- Al ingresar al módulo de Transient Thermal; se establece las condiciones de tiempo de simulación de 5700 segundos (figura 50).

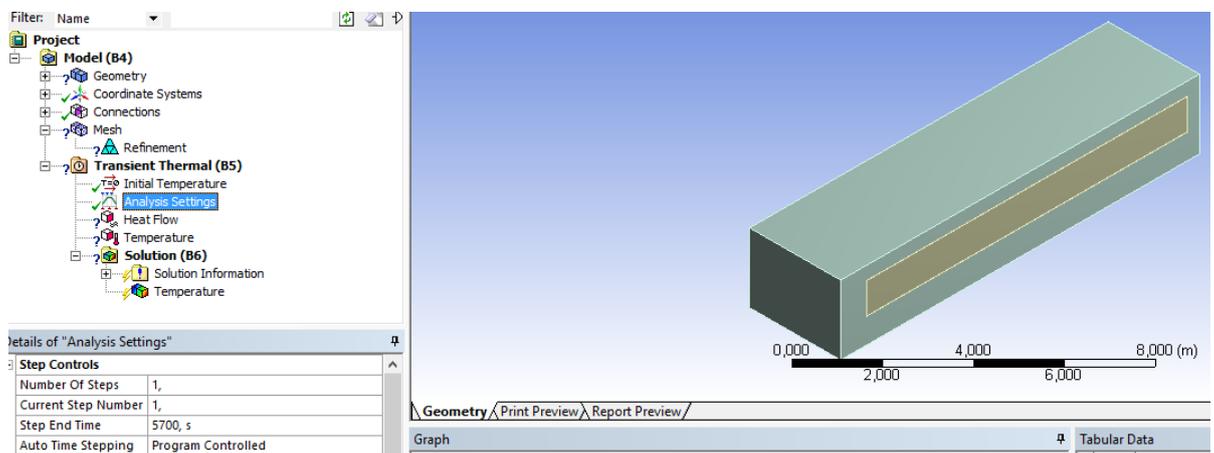


Figura 50. Tiempo de simulación. Fuente: Autor

La condición de calor generado para el espesor de 40 milímetros, con un calor disipado de 563.46 W (figura 51)

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

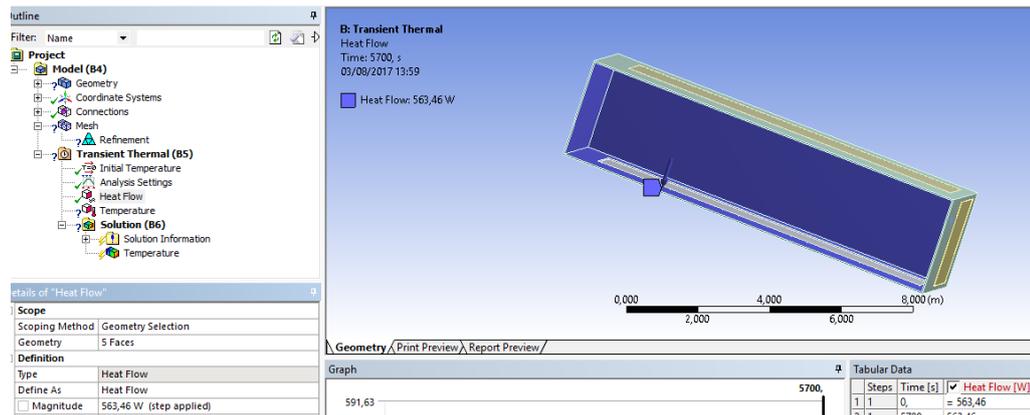


Figura 51. Flujo térmico en el interior del bus Fuente: Autor

Se introduce las condiciones de temperaturas tanto inicial como final de 7 °C y 22 °C respectivamente; como se aprecia en la figura 52, su coloración es verde antes de su aplicación pero al aplicarlo debemos recordar que su coloración cambia a color rojo ver figura 53.

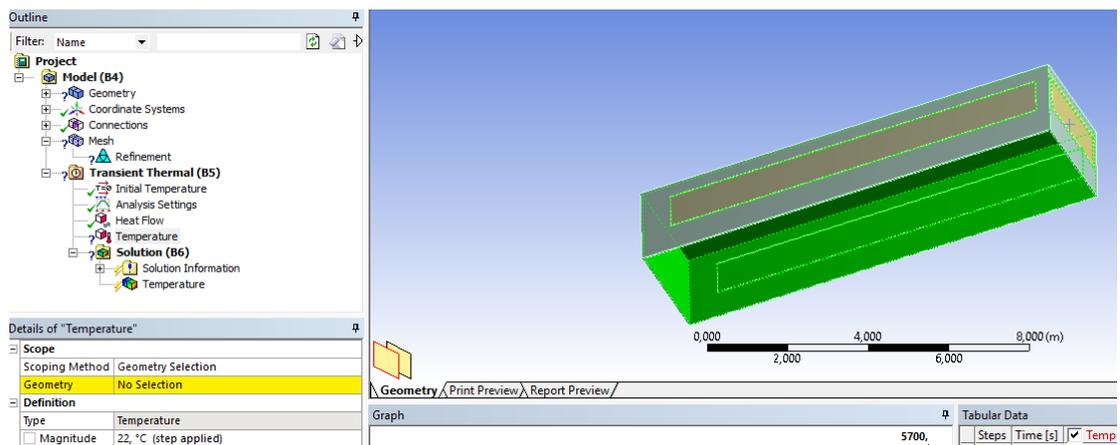


Figura 52. Asignación valores de temperaturas. Fuente: Autor

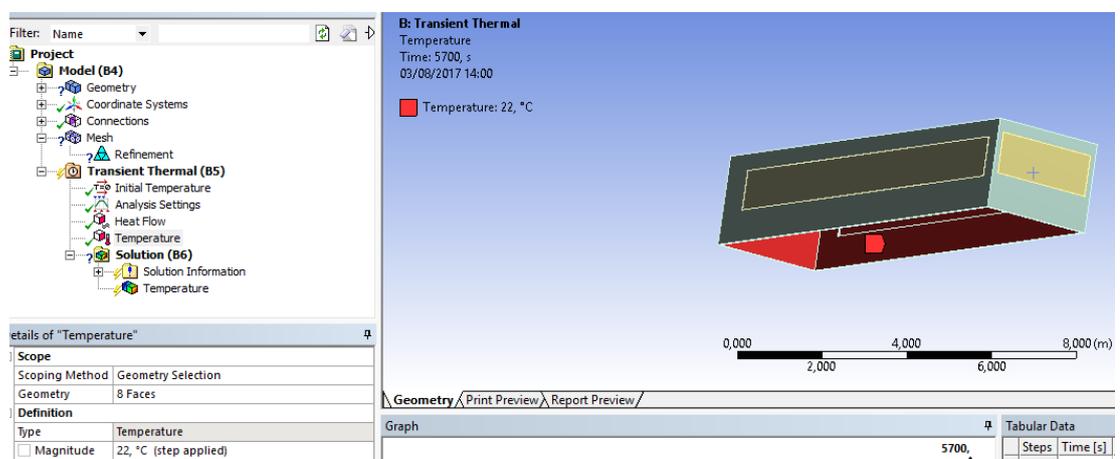


Figura 53. Temperatura asignada en el interior del bus Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

- Para establecer el mallado, se establece con la condición de jacobiana (figura 54), la cual tiene mayor grado de precisión. Para lo cual vamos a seleccionar cada una de las caras de la carrocería. El resultado consta con un promedio de 1 con convergencia jacobiana, parámetros que se acercan lo más cercano a la realidad. Esto permite reducir errores de simulación (figura 55), en el caso es de interés analizar cuanto deja fugar el calor en el interior de la unidad hacia el exterior.

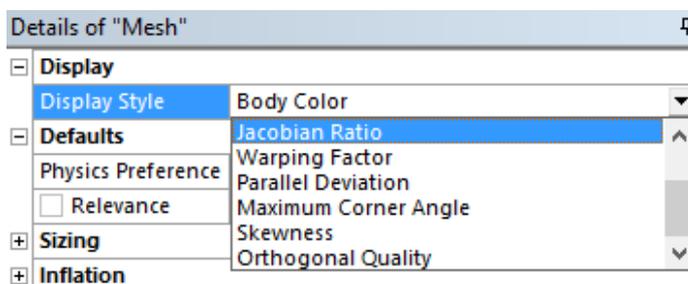


Figura 54. Selección de mallado mediante Jacobian Ratio
Fuente: Autor

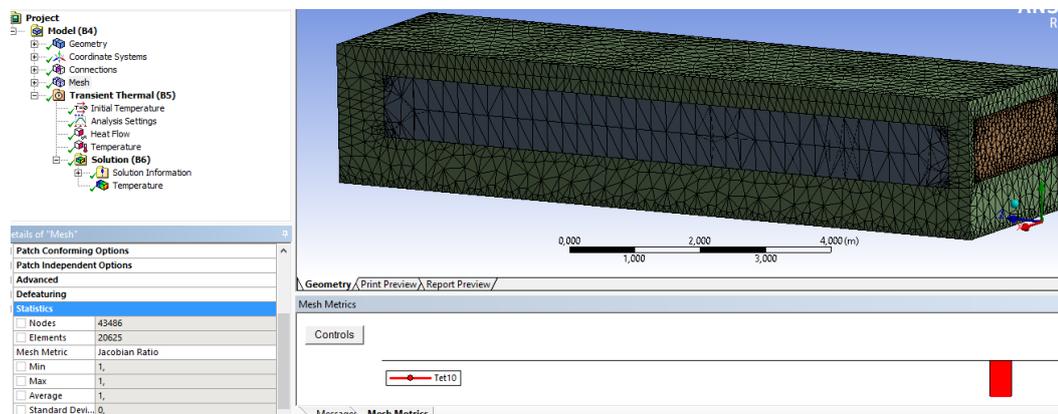


Figura 55. Bus mallado Fuente: Autor

El resultado el tiempo que disipa su calor desde la parte interior a la exterior en la tabla mostrada en la figura 56, se aprecia el valor de 20.096 °C; mientras que en la parte interna se mantiene el valor de 22 °C

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

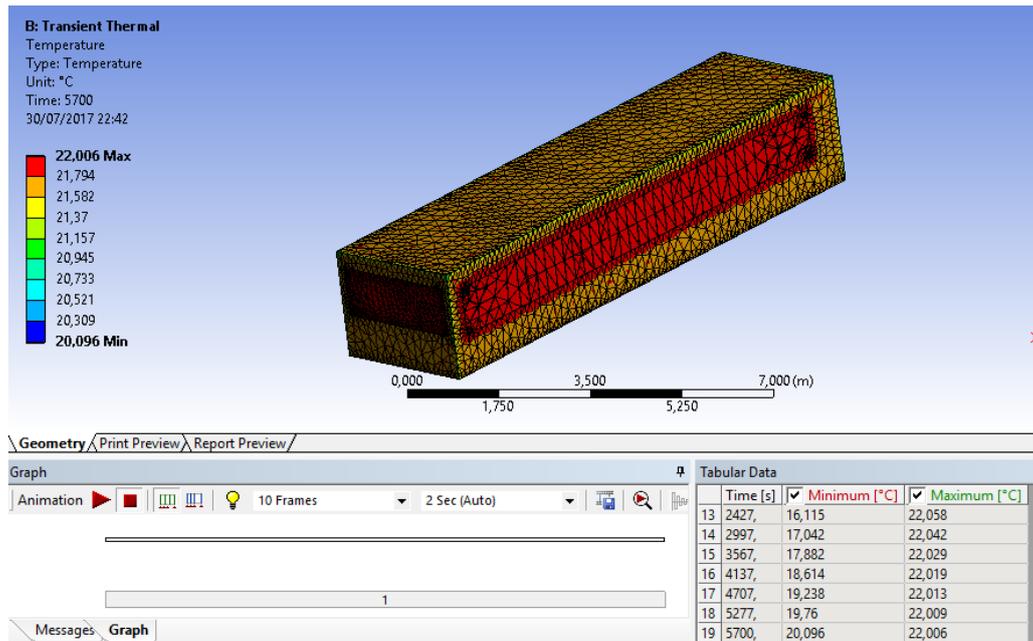


Figura 56. Análisis de transferencia de calor con poliestireno expandido a 40 mm. Fuente: Autor

Simulación para poliestireno expandido con espesor de 50 mm calor

Se realizó el mismo procedimiento respecto a la asignación de las propiedades del material, pero el modelo se cambia por el de espesor de 50 mm, para la simulación se consideró un calor del $460.633 W$, propiedades térmicas anteriormente señaladas, a lo que el valor resultante en el mismo tiempo tiene $18.086\text{ }^{\circ}\text{C}$ en disipar su calor hacia el exterior, lo que se puede visualizar en la figura 57.

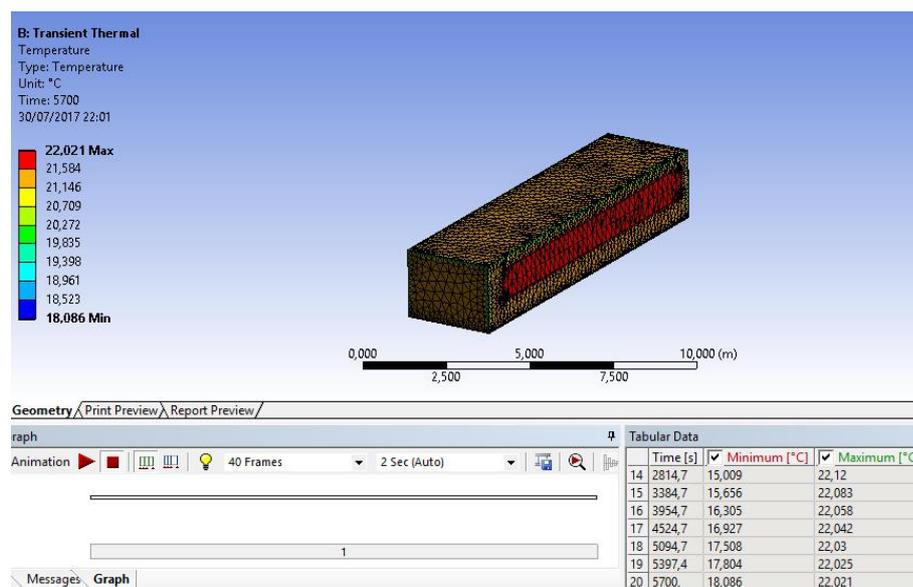


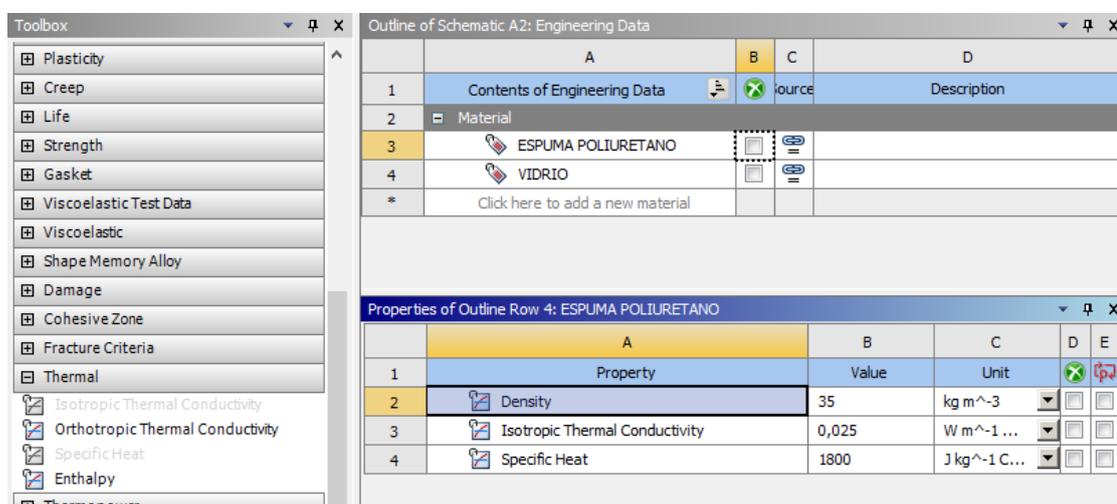
Figura 57. Simulación con poliuretano expandido con 50 mm.

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 45 mm

En el análisis para espuma de poliuretano se consideró el flujo de calor de 393.189 W, conductividad térmica de $0.025 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$, una densidad de $35 \frac{kg}{m^3}$, un calor específico de $1.8 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ ver figura 58, con las condiciones de temperatura de $7^\circ C$ en la parte externa y de $22^\circ C$ en la parte interna; para un tiempo de 5 700 segundos, se simuló el tiempo que disipa su calor desde la parte interior a la exterior en la tabla mostrada en la figura 59, se aprecia el valor de $17.747^\circ C$; mientras que en la parte interna se mantiene el valor de $22^\circ C$



	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	source		Description
2	Material			
3	ESPUMA POLIURETANO			
4	VIDRIO			
*	Click here to add a new material			

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	35	kg m^-3		
3	Isotropic Thermal Conductivity	0,025	W m^-1 K^-1		
4	Specific Heat	1800	J kg^-1 C^-1		

Figura 58. Propiedades de la espuma de poliuretano en el software Ansys student free. Fuente: Autor

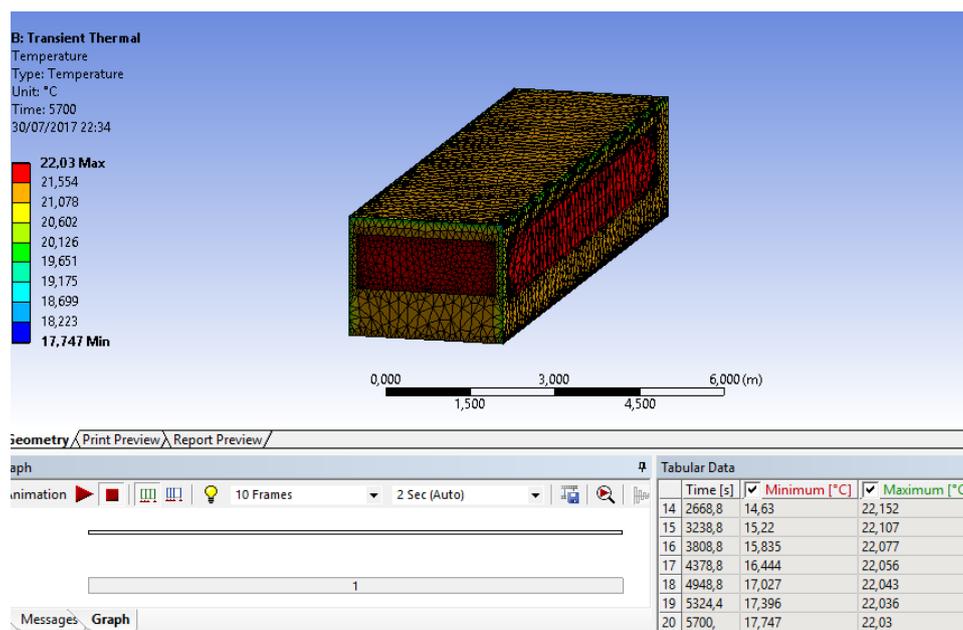


Figura 59. Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 45 mm.

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Simulación para espuma de poliuretano con espesor de 55 mm

En el análisis para espuma de poliuretano se consideró el flujo de calor de 326.17 W, las mismas propiedades establecidas para el espesor anterior, con temperatura de 7 °C en la parte externa y de 22 °C en la parte interna; para un tiempo de 5 700 segundos, se simuló el tiempo que disipa su calor desde la parte interior a la exterior en la tabla mostrada en la figura, se aprecia el valor de 15.949 °C; mientras que en la parte interna se mantiene el valor de 22 °C

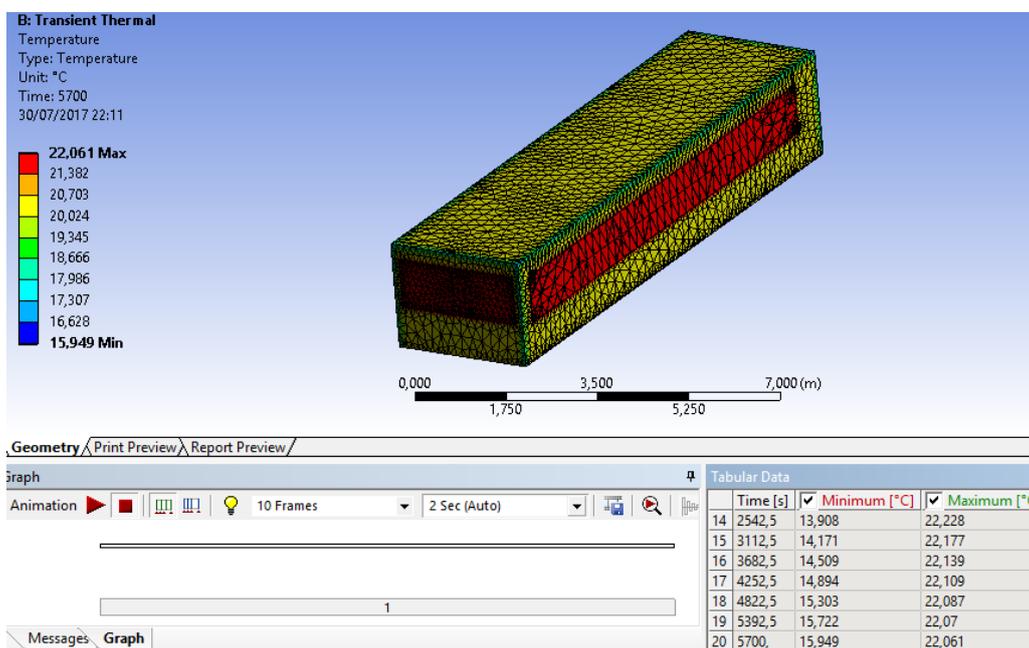


Figura 60. Análisis para espuma de poliuretano con 55 mm. Fuente: Autor

Visualización directa de aplicación de aislante térmico en carrocerías

Aplicación de la espuma de poliuretano en la carrocería

Las industrias carroceras por lo general realizan la contratación de servicio de aplicación del aislante; pero al momento de visualizar el resultado final; se aprecia una superficie no uniforme como se puede apreciar en la figura 61, en las figuras 62,63,64 no poseen una aplicación uniforme del aislante.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 61. Aplicación de espuma de poliuretano en el techo
Fuente: Autor



Figura 62. Espuma de poliuretano en el techo
Fuente: Autor



Figura 63. Espuma de poliuretano pared lateral Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 64. Espuma de poliuretano pared posterior
Fuente: Autor

En la figura 65, al aplicar la capa de fibra de vidrio se puede observar capa de aire entre la pared de aislante y la capa de fibra en la parte interior del bus.



Figura 65. Recubrimiento de carrocería con capa de fibra
Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

La figura 66, muestra espuma de poliuretano, después de 8 años de uso en el interior de un bus.



Figura 66. Espuma de poliuretano después de 8 años
Fuente: Autor

Aplicación poliestireno expandido en la carrocería

El área donde se aplica el aislante, debe tener formas geométricas aceptables (figura 67), para poder instalar, el aislante instalado tiene superficie uniforme (figura 68).



Figura 67. Pared lateral antes de aplicar poliestireno expandido.
Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 68. Pared lateral aplicada poliestireno expandido
Fuente: Autor

En la figura 69 y 70, también se visualiza una carrocería con 8 años de uso, su color no ha variado con mayoría en el transcurso del tiempo y su espesor se mantiene.



Figura 69. Poliestireno expandido después de 8 años. Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES



Figura 70. Poliestireno expandido después de 8 años. Fuente: Autor

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Conforme a la encuesta realizada a los pasajeros se hizo énfasis a la sensación de frío que experimentan los pasajeros en el transcurso de los viajes, las preguntas más relevantes que van acorde con el tema son:

- **Según su percepción ¿cuál es la sensación térmica dentro de la unidad durante el trayecto?**

Al sumar el porcentaje de muy frío 9.1% muy frío, un 35.4% frío; representa un 44.5% de disconformidad, son valores un poco elevados a lo que dice la norma ISO 7730, en donde se establece una tabla en la que se muestra 7 categorías, los cuales responden a los índices de votos previstos y disconformidad, relativos a la sensación térmica provoca en los ocupantes. Donde la sensación térmica debe ser un valor neutral en su mayoría; los valores obtenidos corresponden a (-2) frío el cual corresponde al 9.1% y (-1) igual al %35.4

- **Cree que los sistemas de calefacción, así como de enfriamiento que utilizan las unidades de transporte son adecuados.**

En la encuesta realizada para el enfriamiento o calentamiento, en la norma INEN 1326, establece algunas condiciones como aislamiento acústico y térmico, ventilación, hermeticidad, ergonomía, pero en el área de climatización al momento de la revisión no exigen tener en su totalidad los equipos; por lo que la mayoría de usuarios muestran disconformidad en un 59 %.

En la adquisición de datos se pudo medir temperaturas bajas en el exterior por las condiciones climáticas que representan las zonas establecidas en las rutas Riobamba-Quito y Riobamba-Cuenca durante un tiempo de 6 meses, al comparar los valores mínimos obtenidos por las mediciones en las trayectorias la medición de Riobamba a Cuenca posee valores menores a los adquiridos en la otra ruta; los datos de temperatura externa fueron comparados

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES con los datos otorgados por INAHMI (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA), cuyos datos son aceptables ya que están dentro de las condiciones tabuladas; pero no se debe olvidar que los valores tabulados en las figuras 34 para la ruta Riobamba-Quito y en la figura 36 para la ruta Riobamba-Cuenca, son valores promedios y que la región interandina posee condiciones climáticas bajas.

Para poder determinar el flujo de calor, se considera la composición de las carrocerías, realizada bajo producción nacional; para iniciar con el cálculo se estimaron propiedades térmicas, dimensiones. En el análisis de espuma de poliuretano se obtuvo un valor de calor de 393.189 W, con el mismo se realizó un recalcu del espesor mediante ecuaciones de transferencia de calor por conducción aplicado a varias capas (distintos materiales), con el que se estableció un espesor de 55 mm en el que se determinó un calor de 326.137 W; al realizar la comparación de flujo de calor el flujo de calor se determina una disminución de flujo emanado hacia el exterior.

Del mismo modo para el análisis de poliestireno expandido, con un espesor de 40 mm se obtuvo un valor de 563.457 W, en el que se calcula un espesor de 50 mm, y al realizar el recalcu su valor es de 460.633 W; por lo que es un valor menor al anterior.

Para validar la reducción de consumo en equipos se realiza un análisis respecto al de combustible; por lo que en un viaje de ida y vuelta en el tramo de Riobamba-Quito existe un consumo de \$5 dólares adicionales y valor doble de \$10 dólares para la ruta Riobamba-Cuenca; por lo que a continuación se realizara un análisis de ahorro económico.

Consumo de combustible con espuma de poliuretano

Al aplicar la relación entre el calor generando para la espuma de poliuretano con el espesor; se hace una valoración de consumo, con los dos valores de calor establecidos de 393.189 W para de 45 mm de espesor y de 326.137 W para el espesor de 55 mm; como se

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

puede apreciar en la Tabla 45; el valor de ahorro es de \$0.87 centavos de dólar diario es decir un ahorro en un 17.0554%, lo que representa un ahorro mensual de \$26.09 dólares y un valor anual de \$313.10. Según la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial en la resolución N°. 139-DIR-2010-CNTTTSV, se determinó la vida útil de los buses interprovinciales un tiempo de 20 años, por lo que al estimar este valor de espesor tendrá un valor de ahorro de \$ 6262.07 el dueño de la unidad.

Tabla 45. Valor económico para la espuma de poliuretano

Espesor (mm)	Calor (W)	Consumo (dólares)	%	Gasto mensual (dólares)	Ahorro mensual (dólares)
45	393,189	5,1	100	153	26,09
55	326,137	4,23	82,946	Gasto anual (dólares)	Ahorro anual (dólares)
Ahorro		0,87	17,054	1836	313,10

Fuente: Autor

Consumo de combustible con poliestireno expandido

Al aplicar la relación entre el calor generando del aislante con el espesor; se hace una valoración de consumo, con los dos valores de calor establecidos de 563.457 W para de 40 mm de espesor y de 460.633 W para el espesor de 50 mm; como se puede apreciar en la Tabla 46; el valor de ahorro es de \$0.93 centavos de dólar diario es decir un ahorro en un 18.25%, lo que representa un ahorro mensual de \$27.92 dólares y un valor anual de \$335.05; según la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial en la resolución N°. 139-DIR-2010-CNTTTSV, se determinó la vida útil de los buses interprovinciales un tiempo de 20 años, con el espesor de aislante, tendrá un valor de ahorro de \$ 6700.95 el usuario.

Tabla 46. Consumo de combustible con poliestireno expandido

Espesor (mm)	Calor (W)	Consumo (dólares)	%	Gasto mensual (dólares)	Ahorro mensual (dólares)
40	563,457	5,1	100	153	27,92
50	460,633	4,17	81,75	Gasto anual	Ahorro anual
Ahorro		0,93	18,25	1836	335,05

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Tiempo de encendido del equipo calefactor con poliestireno expandido

El intervalo de encendido del equipo en un bus con poliestireno expandido con los espesores de 45 mm y de 40 mm respectivamente, es de 20 minutos y la duración en mantener en una temperatura aceptable es de 50 minutos, es decir el equipo pasa encendido en 6 ocasiones. El tiempo de viaje para la frecuencia Riobamba-Quito es de 03 horas con 30 minutos, como se aprecia en la tabla 47, en un viaje de ida y vuelta el tiempo estimado es de 7 horas lo que equivale a 420 minutos; el equipo está encendido por 168 minutos a lo que equivale 2 horas 48 minutos.

Tabla 47. *Tiempo de encendido Riobamba-Quito*

Tiempo de encendido (min)	Duración (min)
20	50
168	420

Fuente: Autor

Con el valor establecido de calor para poliestireno expandido y con el tiempo de encendido, haciendo relación con el nuevo espesor, el equipo requeriría estar encendido por 2 horas 19 minutos.

Al evaluar el tramo de viaje de Riobamba-Cuenca, el tiempo de viaje ida y vuelta es de 12 horas a lo que equivale 720 minutos; al realizar la comparación entre el tiempo de encendido habitual de 288 minutos; con el espesor de 50 mm; se obtiene un valor de 235.44 minutos un valor inferior de encendido de 52 minutos.

Para validar el cálculo realizado, se procede hacer la respectiva simulación en Software ANSYS free student por lo que se consideró un tiempo general para todas las simulaciones para medir el tiempo que le toma al aislante transmitir la temperatura interna hacia la parte exterior. En la tabla 48 se visualiza para el poliestireno expandido el espesor de 40 mm permite alcanzar una temperatura en la parte externa de la pared un valor de 20.096 °C, mientras que a 50 mm la temperatura en la capa externa del bus tiene un valor de 18.08 °C es decir el espesor de 40 mm libera en mayor proporción de temperatura que el espesor de

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

50 mm; por lo que su ahorro es de 10.03 % . Para el análisis de la espuma de poliuretano a 45 mm, la temperatura que se libera a la capa externa del bus es de 17.745°C , la temperatura en el espesor de 55 mm es de 15.949°C por lo que también se aprecia una disminución en cuanto a la conducción de calor con un ahorro de 10.12 %.

Tabla 48. *Tiempo de disipación de temperaturas*

POLIESTIRENO EXPANDIDO		
Espesor (mm)	Tiempo (segundos)	Temperatura °C
40	5700	20,096
50	5700	18,08
ESPUMA DE POLIURETANO		
45	5700	17,745
55	5700	15,949

Fuente: Autor

Se realiza una comparación para determinar el margen de error absoluto entre los valores encontrados mediante calculo y simulación. Para el poliestireno expandido el porcentaje de ahorro calculado es de 18.25 % y mediante simulación de 10.03% y para la espuma de poliuretano del 17.054% y mediante simulación de 10.12%. El error para el poliestireno expandido es del 8.22%; para la espuma de poliuretano el valor es de 6.934 %, los porcentajes de error se consideran aceptables.

$$error_{poliestireno} = |18.25 - 10.03|\%$$

$$error_{poliestireno} = |8.22|\%$$

$$error_{poliestireno} = 8.22 \%$$

$$error_{poliuretano} = |17.054 - 10.12|\%$$

$$error_{poliuretano} = |6.934|\%$$

$$error_{poliuretano} = 6.934 \%$$

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

CONCLUSIONES

Se determinó el espesor de aislante de 50 mm para poliestireno expandido, y un espesor de 55 mm para el aislante de espuma de poliestireno, pero de recordarse que la resistencia térmica de la espuma de poliuretano es menor a del poliestireno expandido, por lo que la espuma de poliuretano posee mayor resistividad térmica, siempre que la espuma de poliuretano, este bajo las condiciones de aplicación sean correctas, ya que una mala aplicación genera puentes térmicos como presencia de humedad, falla de estanqueidad de aire, suciedad, porosidad en el aislamiento, falta de uniformidad en la superficie.

En las unidades actuales, en los viajes realizados se evidenció disconformidades por los pasajes, ya que el frío fue perceptible, lo cual evidencia una deficiencia en el sistema de calefacción y el aislamiento presentes en los autobuses, generando la necesidad del presente estudio.

Mediante la aplicación de ecuación de transferencia de calor, se pudo establecer un esquema de cálculo para poder realizar cálculos a futuro de nuevos materiales.

En las paredes laterales se evidencia mayor pérdida de calor ya que el aluminio y vidrio su conductividad térmica es mucho mayor que la de fibra vidrio y de los aislantes; por lo que la pérdida de calor es mayor en esas zonas, en los cálculos realizados el valor de resistencia para la pared lateral, los valores para el vidrio $0.0005623 \frac{K}{W}$ y de $1.25 \cdot 10^{-7} \frac{K}{W}$ para el aluminio, mientras que los valores de fibra de vidrio aplicados en el techo son de $0.00076 \frac{K}{W}$.

En simulación se pudo visualizar que existía una mayor conductividad en las paredes de menor espesor en relación a las de mayor, es decir en un tiempo establecido y con el mismo material aislante una disminución de conductividad en un 10% es decir una resistencia de temperatura de 2 °C.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

En los viajes realizados, se constató un incremento de combustible en \$5 dólares cuando usan calefacción, por lo que al realizar el recalcu de espesor el valor de consumo se estimaría en \$4.23 con un ahorro de \$0.87 para una ruta de ida y vuelta de 7 horas. Realizar el cálculo para el tiempo de vida útil de la unidad la unidad permitirá ahorrar un valor aproximado de \$6 700.95 dólares, lo que representaría mayor ahorro y ayuda a disminuir la emisión de gases tóxicos emitidos por diésel. Si hay una disminución de consumo de energía también se evidencia mayor duración de conservación del área a la temperatura adecuada.

En las figuras 96,97,98,98 se aprecia una incorrecta aplicación de la espuma de poliuretano ya que la principal condición para que se genere una correcta resistividad térmica, la superficie del aislante debe estar uniforme; en las imágenes mostrada se visualiza ciertas superficies donde el material aislante no supera ni los 5 mm de aplicación de aislante por lo que se genera puentes térmicos que hacen que el aislante no desempeñe su funcionalidad de manera correcta.

Respecto al poliestireno expandido la figura 103 su superficie es uniforme. Además, en condición de durabilidad en las figuras 104 y 105 respecto al poliestireno expandido y la figura 101 con espuma de poliuretano son de carrocerías con un estimado de vida útil de 8 años. En la carrocería que fue aplicada la espuma de poliuretano se evidencia que su consistencia y espesor disminuyeron con el tiempo en relación a la carrocería que contiene poliestireno expandido, la superficie y espesor se podría decir que se visualiza un leve cambio.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

RECOMENDACIONES

En la norma INEN 1323, respecto al aislamiento térmico y acústico donde se especifique la calidad y las propiedades que deben poseer los materiales aislantes, así como su correcta aplicación, dentro del mercado nacional.

A futuro se debería ampliar nuevos horizontes en la aplicación de nuevos materiales aislantes que posean mayor durabilidad sin cambiar sus propiedades de conductividad térmica.

La aplicación de la espuma de poliuretano sobre una superficie debe ser uniforme y cubrir toda el área donde se requiere aislante.

Las unidades para lograr retener en mayor porcentaje de calor dentro, deben considerar que sea lo más hermético posible, a su vez evitar infiltración de aire, que generen que el calor se logre mantener la temperatura.

Se debería obligar a incrementar sistemas de calefacción y de aire acondicionado para mejorar el confort para los pasajeros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

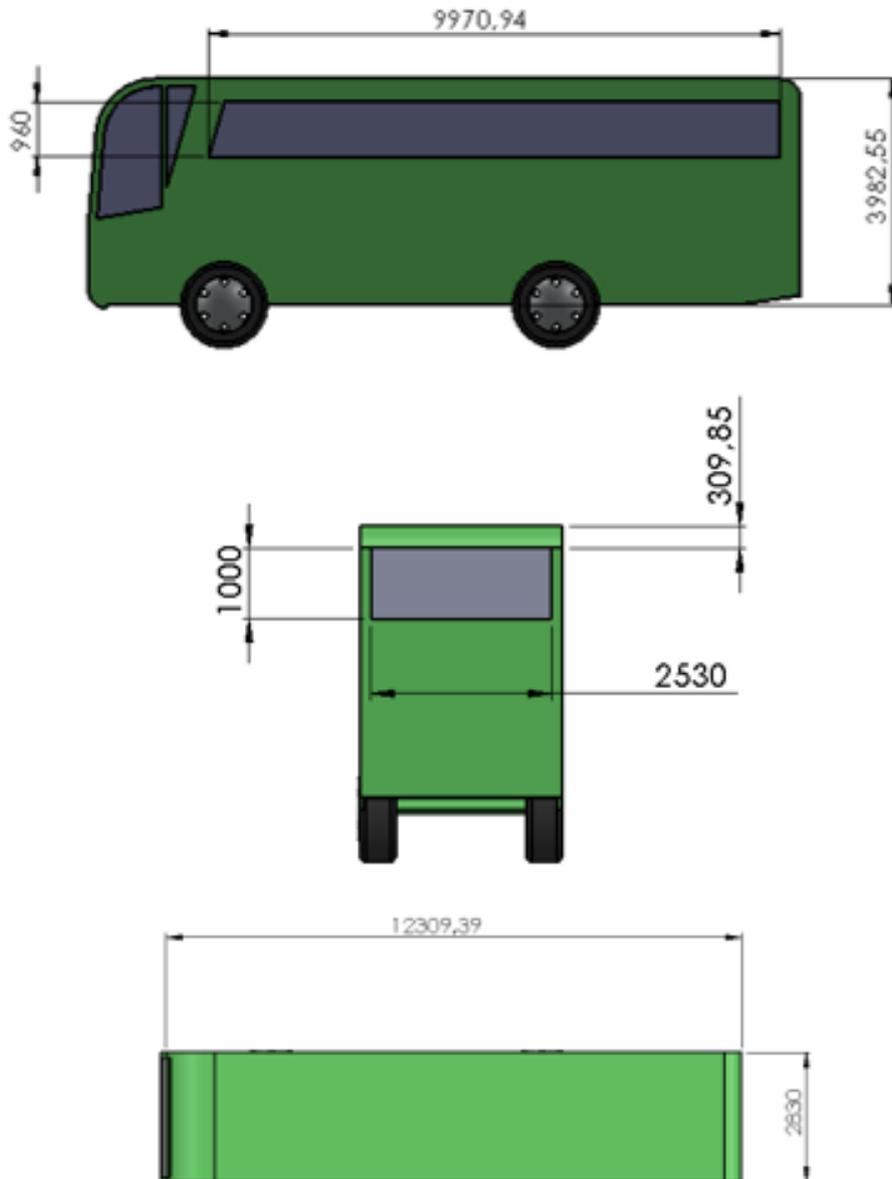
- (2017). Obtenido de www.google.com.ec/maps.
- ASTM A-500 . (2015). *PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado* .
- ASTM A792. (2015). *Standard Specification for Steel Sheet, 55 % Aluminum-Zinc Alloy-Coated by the Hot-Dip Process*.
- ASTM E162. (s.f.). Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat.
- ATEPA. (2016). *Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado*. Madrid, España. Obtenido de <http://www.atepa.org/PUR.pdf>
- Corace, J. J. (2013). Mecanismos de transferencia de calor. En *FISICA II* (pág. 30).
- Corazza, M., Guida, U., Musso, A., & Tozzi, M. (2016). A new generation of buses to support more sustainable urban. *ELSEVIER*, 1-10.
- DIRECTIVA EUROPEA, D. 2. (13 de 02 de 2002). relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de. EUROPA.
- FOROS ECUADOR. (11 de Julio de 2015). *forosecuador.ec*. Obtenido de <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/12571-zonas-clim%C3%A1ticas-del-ecuador>
- Incropera, F., & DeWITT, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4 ed.). México, México.
- INEN 1623. (2015). *PERFILES ABIERTOS DE ACERO CONFORMADOS EN FRÍO NEGROS O GALVANIZADOS PARA USO ESTRUCTURAL REQUISITOS E INSPECCION*. Quito.
- INEN 1668. (2014). *VEHICULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRAREGIONALES, INTERPROVINCIALES E INTRAPROVINCIALES. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR*.
- INEN 1668. (2015). *NTE INEN 1668 VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS. QUITO-ECUADOR*.
- INEN 1669. (2011). VIDRIOS DE SEGURIDAD PARA AUTOMOTORES NTN INEN 1669:2011. *INEN 1669*, 16.
- INEN 2 506. (2009). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES. REQUISITOS, 2009*, 16. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- INEN 2415. (2008). *Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos*. Quito.

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

- INER. (2016). Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energías en viviendas. Obtenido de Instituto Nacional de eficiencia energética y energías renovables: www.iner.gob.ec
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2016). “GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL”. Quito, Pichinca, Ecuador.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA . (2015). *ANUARIO METEOROLÓGICO*. QUITO.
- ISO 3795. (10 de 1989). Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry -- Determination of burning behaviour of interior materials. 6.
- ISO 7730. (s.f.). Confort Térmico.
- LA HORA . (26 de 07 de 2016). Obtenido de http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101966861/-1/La_producci%C3%B3n_de__carrocer%C3%ADas_cae_un_40%25.html#.WOfcqIWcFMs
- NTE INEN 2656. (2016). Clasificación vehicular. Quito, Ecuador.
- NTE INEN-ISO 7345. (2014). *AISLAMIENTO TERMICO MAGNITUDES FISIAS Y DEFINICIONES*.
- Panana Girio, A. E. (s.f.). *Transferencia de calor y masa*.
- Villar, J. S. (2015). *MODELADO DINÁMICO DE AUTOBUSES PARA EL*. Sevilla, España.
- Wang, S. K. (2000). *HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION* (Vol. 2).
- Xaisfe*. (2017). Obtenido de www.xaisfe.com
- Yunus, & Cengel. (2007). *Transderencia de Calor y Masa*. México.
- Yunus, & Cengel. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*.
- Yunus, C., & Afshin, G. (2011). *Transferencia de calor y masa Fundamentos y aplicaciones* (Cuarta ed.). Mc Graw Hill.
- Zhang, K., Zhou, K., & Zhang, F. (2014). Evaluating bus transit performance of Chinese cities. *ELSEVIER*, 105-112.

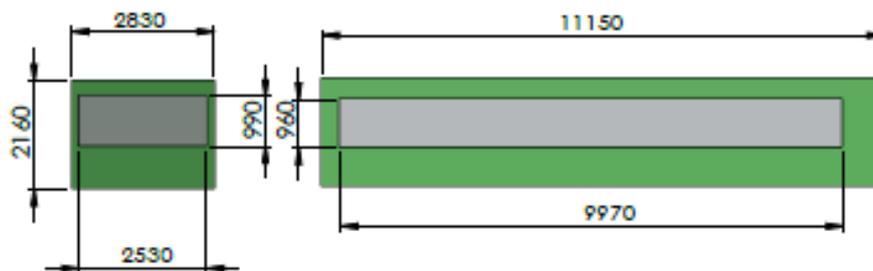
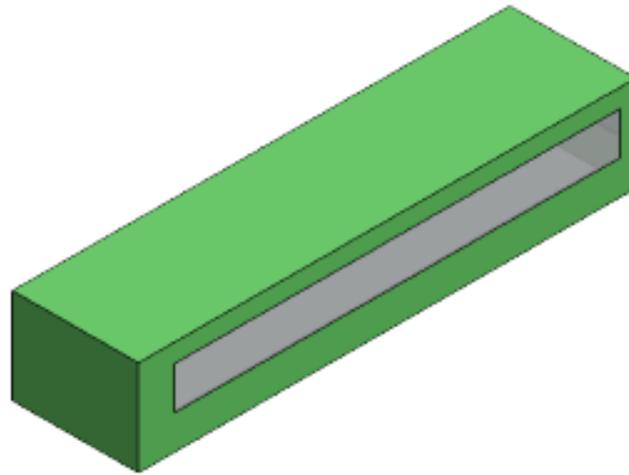
ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

ANEXOS

Anexo 1. Dimensiones de la carrocería

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Anexo 2. Dimensión parte interna del bus para hacer análisis térmico



Traf. Térmico:	Ninguno	UISEK	FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS	
Recubrimiento:	Ninguno		MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	
Material	Tol. Gral ± 0.01	Escala 1 : 2	Dib.	Eugenia Naranjo
			Dis.	Eugenia Naranjo
			Rev	Ing. Jaime Molina

ANÁLISIS DE ESPESOR DE AISLANTE PARA BUSES INTERPROVINCIALES

Anexo 3. Encuesta

ENCUESTA DE CONFORTABILIDAD TÉRMICA

1. ¿Con qué frecuencia viaja usted?

- Siempre
- Casi siempre
- Nunca

2. ¿Cuál es su destino?

.....

3. En q horario viaja frecuentemente

- Madrugado
- Media mañana
- Medio día
- Tarde
- Noche

4. Según su percepción, cual es la sensación térmica dentro de la unidad durante el trayecto

- Frio
- Muy Frio
- Templado
- Caliente
- Sofocante

5. Desde su punto de vista que cooperativas de transporte considera que brindan una sensación térmica idónea durante todo el trayecto

- | | |
|-------------------|-----------------|
| ▪ Ecuador | ▪ Santa |
| ▪ Patria | ▪ Occidental |
| ▪ Chimborazo | ▪ Sucre Express |
| ▪ Riobamba | ▪ |
| ▪ TransVencedores | ▪ |
| ▪ Panamericana | |
| ▪ Viajeros | |

6. ¿Cómo piensa que se podría mejorar estas condiciones con respecto al confort térmico en el interior de bus?

.....

7. Cree que los sistemas de calefacción, así como de enfriamiento que utilizan las unidades de transporte son adecuadas

- SI
- NO

PORQUE

.....