

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

“Diseño y construcción de una persiana para evitar el recalentamiento del motor de combustión interna de un autobús tipo AK del Consorcio Mejía Brito”.

Rodrigo Andrés Cárdenas Yáñez

Nota del autor

Rodrigo Andrés Cárdenas Yáñez, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

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

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

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

Quito 2018

Declaración Juramentada

Yo, Rodrigo Andrés Cárdenas Yánez, con cédula de identidad 1723176002, 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.

RODRIGO ANDRÉS CÁRDENAS YÁNEZ
C.I.: 1723176002

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado ante todo, a mi Dios por darme la fuerza y serenidad en aquellos momentos de debilidad, por darme salud y paciencia para superar todas las dificultades en tan arduo programa de maestría.

A mis padres por estar siempre a mi lado, en especial a la razón de mi persistencia y continua lucha, Mi Mamita linda, por ser la inspiración para mi continua superación.

Gracias a mis hermanas amadas por tenerme en sus oraciones y por último, dedicar a ti mi éxito mi novia amada, porque gracias a ti obtuve este logro, mi amor por estar a mi lado, apoyándome y queriéndome, gracias por soportar mis preocupaciones, a lo largo de todo este programa de maestría. ¡Te Adoro!

A todos mis familiares y amig@s ¡¡¡¡¡LOS QUIERO MUCHO!!!!

Andrés Cárdenas Y.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen, guiándome por el buen camino, por darme mucha salud y paz, llenarme de mucha sabiduría y entendimiento.

A mis padres, por ser pilares fundamentales en mi vida y educación, ayudándome en todo lo que necesito y teniendo siempre su apoyo en los buenos y no tan buenos momentos, para culminar esta exitosa maestría, los quiero.

A mis hermanas, porque sé que cuento con ellas en todo momento y hacer el día a día uno distinto a otro, las quiero.

A mis tutores, por guiarme y ayudarme en este camino para lograr la culminación de éste trabajo de investigación con mucho éxito.

A mis compañeros de maestría, por hacer de este viaje de éxitos una bonita experiencia.

A ti ñaña Silvy Cárdenas y ñaño Maury Proaño por ser como unos segundos padres y ayudarme en todo.

A mi primo Ricardo Proaño por hacerme pasar buenos momentos y por ser también un buen amigo; al igual agradezco a mi amigo Josué Chiluisa por apoyarme y colaborar en la validación de resultados de éste proyecto de investigación.

Y por último pero no menos importante al Lic. René Barreno, por darme la oportunidad ser parte de la Coordinación de Transportes del Ministerio de Salud Pública, dónde actualmente laboro día tras día para sacar adelante mi país.

Andrés Cárdenas Y.

Índice de Contenidos

| | |
|----------------------------------|----|
| DEDICATORIA | 3 |
| AGRADECIMIENTO | 4 |
| ÍNDICE | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 12 |
| LISTA DE TABLAS | 18 |
| RESUMEN | 20 |
| ABSTRACT | 21 |
| Introducción | 22 |
| Estudio del arte | 25 |
| Antecedentes | 25 |
| Marco conceptual. | 25 |
| Dinámica de fluidos | 26 |
| Líneas de Corriente | 28 |
| Líneas de trayectoria | 28 |
| Capa límite | 29 |
| Fluido. | 29 |
| Características. | 30 |
| Propiedades de los fluidos. | 31 |
| <i>Densidad.</i> | 31 |

| | |
|--|----|
| Peso específico. | 31 |
| Viscosidad. | 33 |
| Principio de Bernoulli | 35 |
| Flujo laminar y flujo turbulento | 36 |
| Número de Reynolds | 37 |
| Número de Mach | 38 |
| Carga aerodinámica | 39 |
| Coeficiente de sustentación. | 40 |
| Resistencia aerodinámica. | 41 |
| Coeficiente de arrastre. | 42 |
| Eficiencia Aerodinámica. | 43 |
| Potencia absorbida. | 43 |
| Resistencia del aire. | 44 |
| Aerodinámica de un autobús | 45 |
| Evolución de las persianas | 46 |
| Flujo externo | 48 |
| Materiales de persianas para autobuses | 48 |
| Ecuaciones de Navier-Stokes | 49 |
| Volúmenes finitos | 51 |
| Diferencias finitas | 51 |

| | |
|--|----|
| Características y tipo de mallado | 51 |
| Mallados estructurados. | 52 |
| Mallados no estructurados. | 53 |
| Método | 55 |
| Método de investigación cualitativa y cuantitativa | 55 |
| Tipo de estudio | 56 |
| Modalidad de la investigación | 56 |
| Selección de instrumentos de investigación..... | 56 |
| Metodología | 57 |
| Revisión del estudio del arte..... | 59 |
| Métodos experimentales. | 59 |
| Análisis de la geometría de la persiana. | 59 |
| Mediciones de longitud y ángulo de la persiana..... | 60 |
| Propuesta de diseño y simulación de la persiana | 61 |
| Construcción..... | 62 |
| Validación de la persiana | 62 |
| Materiales y equipos..... | 63 |
| Diseño y tipos de persianas | 68 |
| Simulación..... | 69 |
| Parámetros de simulación..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Simulación de persianas | 70 |
| Resultados | 75 |
| Cálculo del área total transversal | 75 |
| Validación computacional de las persianas..... | 75 |
| Modelo de persianas..... | 76 |
| Persiana 1..... | 76 |
| Velocidad..... | 78 |
| Presión..... | 79 |
| Temperatura..... | 80 |
| Persiana 2..... | 81 |
| Velocidad..... | 83 |
| Presión..... | 84 |
| Temperatura..... | 85 |
| Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 30°..... | 86 |
| Velocidad..... | 89 |
| Presión..... | 90 |
| Temperatura..... | 91 |
| Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 60°..... | 92 |
| Velocidad..... | 94 |
| Presión..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Temperatura. | 96 |
| Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 90° | 97 |
| Velocidad. | 100 |
| Presión. | 101 |
| Temperatura. | 102 |
| Resultados computacionales de las persianas | 103 |
| Cálculos introductorios | 104 |
| Análisis de eficiencia aerodinámica. | 104 |
| Cálculo de Reynolds a una velocidad promedio de 60 km/h. | 104 |
| Persiana 1. | 104 |
| Persiana 2. | 105 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 30° | 105 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 60° | 106 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 90° | 107 |
| Cálculo de Reynolds a una velocidad promedio de 90 km/h. | 108 |
| Persiana 1. | 108 |
| Persiana 2. | 108 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 30° | 109 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 60° | 109 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 90° | 110 |

| | |
|--|-----|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PERSIANA PARA AUTOBÚS TIPO AK | 10 |
| Parámetros aerodinámicos..... | 111 |
| Persiana 1..... | 111 |
| Cálculo de la fuerza de sustentación..... | 111 |
| Cálculo del coeficiente de arrastre..... | 112 |
| Potencia absorbida..... | 113 |
| Resistencia del Aire..... | 113 |
| Eficiencia Aerodinámica..... | 114 |
| Análisis de las persianas según Reynolds..... | 122 |
| Condiciones aerodinámicas con mejores prestaciones en la persiana 3 con apertura de aspas a 90°..... | 123 |
| Comparación de valores entre persiana 1, persiana 2 y persiana 3 con apertura de aspas a 90°..... | 124 |
| Discusión..... | 125 |
| Fuerza de arrastre..... | 125 |
| Fuerza de sustentación..... | 125 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire..... | 125 |
| Resistencia del aire..... | 126 |
| Número de Reynolds..... | 126 |
| Eficiencia aerodinámica..... | 126 |
| Temperatura..... | 126 |

| | |
|--|-----|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PERSIANA PARA AUTOBÚS TIPO AK | 11 |
| Impresión 3D de la persiana..... | 126 |
| Pruebas y tabulación de resultados..... | 128 |
| Temperaturas otorgadas por la simulación computacional. | 128 |
| Temperatura MCI del autobús con persiana 1. | 130 |
| Temperatura MCI del autobús con persiana 3 con apertura de aspas a 90°. | 130 |
| Conclusiones..... | 136 |
| Recomendaciones | 137 |
| Referencias Bibliográficas | 138 |
| ANEXO N° 1 | 138 |
| ENTREVISTA | 143 |
| ANEXO N° 2 | 146 |
| PLANOS DE PERSIANAS | 146 |
| ANEXO N° 3..... | 153 |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MATERIAL ASA..... | 154 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Líneas de Corriente. Por Morocho, (2011)..... | 28 |
| <i>Figura 2.</i> Líneas de trayectoria. Recuperado de PUCHA, (2016)..... | 29 |
| <i>Figura 3.</i> Capa limite sobre un perfil aerodinámico. Por Carsolio, (2011)..... | 29 |
| <i>Figura 4.</i> Diagrama del tubo de Venturi. Recuperado de VALERO, (2011)..... | 35 |
| <i>Figura 5.</i> Flujo de aire alrededor de un corte transversal de un ala de un avión. Por GONZALEZ, (2017)..... | 36 |
| <i>Figura 6.</i> Flujo Laminar y turbulento. Recuperado de Mott, (2006)..... | 37 |
| <i>Figura 7.</i> Carga aerodinámica. Por López, (2008)..... | 39 |
| <i>Figura 8.</i> Gráfica del coeficiente de sustentación en función del ángulo de ataque. Recuperado de López, (2008)..... | 41 |
| <i>Figura 9.</i> Persiana frontal tipo arco. Fuente: Propia..... | 46 |
| <i>Figura 10.</i> Persiana frontal rectangular cromada. Fuente: Propia..... | 47 |
| <i>Figura 11.</i> Persiana frontal rectangular. Fuente: Propia..... | 47 |
| <i>Figura 12.</i> Persiana frontal tipo larguero. Fuente: Propia..... | 48 |
| <i>Figura 13.</i> Terminología empleada en el método de volúmenes finitos. Recuperado de Oro, (2012)..... | 52 |
| <i>Figura 14.</i> Ejemplos de mallas estructuradas. Por Oro, (2012)..... | 53 |
| <i>Figura 15.</i> Ejemplos de mallas no estructuradas. Recuperado de Oro, (2012)..... | 54 |
| <i>Figura 16.</i> Temas para cumplir con los objetivos principales del proyecto. Fuente: Propia..... | 58 |
| <i>Figura 17.</i> Dimensionamiento lateral LH y RH. Fuente: Propia..... | 60 |
| <i>Figura 18.</i> Longitud superior e inferior. Fuente: Propia..... | 61 |

Figura 19. Acrilonitrilo estireno y acrilato. Fuente:

<https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa> 63

Figura 20. Impresora 3D Fortus 900 mc. Fuente: <https://trimech.com/products/3d-printers/fdm-technology/fortus-900mc>. 66

Figura 21. Material soporte (color blanco, café). Fuente: Stratasys, (2016)..... 67

Figura 22. Siemens Nx 11.0. Fuente: <https://www.google.com.ec/search?q=siemens+nx+11.0> 68

Figura 23. Multímetro digital. Fuente: Marca EW FIRST POWER..... 72

Figura 24. Trayectoria de recorrido Machachi – Cutuglahua. Fuente: Google maps..... 74

Figura 25. Área proyectada. Recuperado de Mezquita, (2006) 75

Figura 26. Área proyectada - Persiana 1. Fuente: NX Siemens 76

Figura 27. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 1. Fuente: ANSYS... 77

Figura 28. Calidad de malla con valor de orthogonal quality mínimo de 0.22198 - Persiana 1. Fuente: ANSYS 77

Figura 29. Valores de convergencia - Persiana 1. Fuente: ANSYS..... 78

Figura 30. Velocidad de flujo de aire – Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS 78

Figura 31. Velocidad de flujo de aire – Persiana 1 a 90km/h. Fuente: ANSYS..... 79

Figura 32. Presión máxima – Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS..... 79

Figura 33. Presión máxima - Persiana 1 a 90km/h. Recuperado de ANSYS..... 80

Figura 34. Temperatura - Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS..... 80

Figura 35. Temperatura - Persiana 1 a 90km/h. Recuperado de ANSYS 81

Figura 36. Área proyectada - Persiana 2. Fuente: NX Siemens 81

Figura 37. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 2. Recuperado de ANSYS 82

Figura 38. Calidad de malla con valor de orthogonal quality mínimo de 0.18805 - Persiana 2.

Fuente: ANSYS 83

Figura 39. Valores de convergencia - Persiana 2. Recuperado de ANSYS..... 83

Figura 40. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS 84

Figura 41. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS 84

Figura 42. Presión máxima – Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS..... 85

Figura 43. Presión máxima - Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS..... 85

Figura 44. Temperatura - Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS..... 86

Figura 45. Temperatura - Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS 86

Figura 46. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 30°. Fuente: NX Siemens 87

Figura 47. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°. Recuperado de ANSYS 88

Figura 48. Calidad de malla con valor de orthogonal quality mínimo de 0.17439 - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°. Fuente: ANSYS 88

Figura 49. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°. Recuperado de ANSYS 89

Figura 50. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS 89

Figura 51. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS..... 90

Figura 52. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS 90

Figura 53. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 91

Figura 54. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS 91

Figura 55. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 92

Figura 56. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 60°. Fuente: NX Siemens 92

Figura 57. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Recuperado de ANSYS 93

Figura 58. Calidad de malla con valor de orthogonal quality mínimo de 0.16225 - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Fuente: ANSYS 94

Figura 59. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Recuperado de ANSYS 94

Figura 60. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS 95

Figura 61. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS..... 95

Figura 62. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS 96

Figura 63. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 96

Figura 64. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS 97

Figura 65. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 97

Figura 66. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 90°. Fuente: NX Siemens 98

Figura 67. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°. Recuperado de ANSYS 99

Figura 68. Calidad de malla con valor de orthogonal quality mínimo de 0.15211 - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°. Fuente: ANSYS 99

Figura 69. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Recuperado de ANSYS 100

Figura 70. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS 100

Figura 71. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS..... 101

Figura 72. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS 101

Figura 73. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 102

Figura 74. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS 102

Figura 75. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS 103

Figura 76. Clasificación de partes - Impresión 3D persiana. Recuperado de Stratasys, (2016). 127

Figura 77. Persiana fabricada. Fuente: Propia 127

| | |
|---|-----|
| Figura 78. Acabado final de la persiana. Fuente: Propia | 128 |
| <i>Figura 79.</i> Prueba de ruta - Trayecto Machachi Cutuglahua. Fuente: Propia | 129 |
| <i>Figura 80.</i> Temperatura real - Persiana 1. Fuente: Propia..... | 130 |
| Figura 81. Persiana 3 con apertura de aspas a 90° instalada en el autobús. Fuente: Propia | 131 |
| Figura 82. Temperatura real - Persiana 3 con apertura de aspas a 90°. Fuente: Propia..... | 131 |
| Figura 83. Comparación de resultados de temperatura de persianas simuladas a 60 y 90 km/h. Fuente: Propia | 133 |
| Figura 84. Comparación de resultados de temperatura virtual entre persiana instalada en autobús VS persiana fabricada. Fuente: Propia..... | 133 |
| Figura 85. Comparación de resultados de temperatura en campo entre persiana instalada en autobús VS persiana fabricada. Fuente: Propia | 134 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i> | 49 |
| Tabla 2. <i>Composición química del acero ASTM A36</i> | 49 |
| Tabla 3. <i>Medidas obtenidas en la persiana del autobús</i> | 61 |
| Tabla 4. <i>Ficha técnica ASA</i> | 63 |
| Tabla 5. <i>Propiedades mecánicas de ASA</i> | 64 |
| Tabla 6. <i>Propiedades térmicas de ASA</i> | 65 |
| Tabla 7. <i>Propiedades eléctricas</i> | 66 |
| Tabla 8. <i>Propiedades del aire</i> | 71 |
| Tabla 9. <i>Especificaciones técnicas del multímetro digital</i> | 73 |
| Tabla 10. <i>Número de elementos y nodos – Persiana 1</i> | 76 |
| Tabla 11. <i>Número de elementos y nodos – Persiana 2</i> | 82 |
| Tabla 12. <i>Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°</i> | 87 |
| Tabla 13. <i>Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°</i> | 93 |
| Tabla 14. <i>Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°</i> | 98 |
| Tabla 15. <i>Resultados de presión máxima y velocidad de flujo de aire</i> | 103 |
| Tabla 16. <i>Resultados - Persiana 1 a 90 km/h</i> | 114 |
| Tabla 17. <i>Resultados - Persiana 1 a 60 km/h</i> | 115 |
| Tabla 18. <i>Resultados - Persiana 2 a 60 km/h</i> | 116 |
| Tabla 19. <i>Resultados - Persiana 2 a 90 km/h</i> | 116 |
| Tabla 20. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 30° a 60 km/h</i> | 117 |
| Tabla 21. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 30° a 90 km/h</i> | 118 |
| Tabla 22. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 60° a 60 km/h</i> | 119 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 60° a 90 km/h</i> | 119 |
| Tabla 24. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 90° a 60 km/h</i> | 120 |
| Tabla 25. <i>Resultados - Persiana 3 con aspas 90° a 90 km/h</i> | 121 |
| Tabla 26. <i>Resultados del número de Reynolds de cada modelo de persiana</i> | 122 |
| Tabla 27. <i>Resultados obtenidos con el diseño de persiana más eficiente.</i> | 123 |
| Tabla 28. <i>Comparación de los datos obtenidos entre persianas</i> | 124 |
| Tabla 29. <i>Temperaturas otorgadas por el software CAE</i> | 128 |
| Tabla 30. <i>Medición de temperaturas en el trayecto Machachi - Cutuglahua</i> | 129 |
| Tabla 31. <i>Análisis de resultados</i> | 132 |

RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo principal diseñar, simular y construir una persiana de un autobús tipo AK perteneciente al “Consortio Mejía Brito”, que cumpla con los parámetros principales de diseño para evitar el recalentamiento de su motor de combustión interna. Para esto, se adquirió la cubierta que viene instalada en el autobús con el fin de tomar las dimensiones de su perfil para el estudio de ingeniería, así como también el material idóneo para la fabricación de la autoparte. Como primera instancia se identificó las dimensiones de los perfiles de la cubierta del autobús para realizar un levantamiento de dos (2) prototipos de persianas.

Posteriormente se modeló los dos (2) prototipos de persiana más la persiana que lleva instalada en el autobús en NX Siemens (CAD), en dónde se analizó el flujo de aire mediante simulación computacional (CFD). Seguidamente se observó el comportamiento del flujo de aire de las tres (3) configuraciones de persiana del autobús. Adicionalmente en un análisis posterior se identificó el prototipo con el material idóneo para elaborar una tabla comparativa de resultados y finalmente construir el prototipo final.

Palabras Clave: CAD, Simulación, CFD, Prototipo final.

ABSTRACT

The main objective of the project is to design, simulate and construct a shutter of an AK type bus belonging to the "Mejia Brito Consortium", which meets the main design parameters to avoid overheating of its internal combustion engine. For this, the cover that is installed in the bus was acquired in order to take the dimensions of its profile for the engineering study, as well as the material suitable for the manufacture of the autoparte. As a first step, the dimensions of the bus roof profiles were identified for a survey of two (2) prototype blinds.

Later, two shutter prototypes were modeled, plus the shutter installed on the bus at NX Siemens (CAD), where the airflow was analyzed by computer simulation (CFD). Next, the air flow behavior of the three (3) bus shutter configurations was observed. Additionally, in a later analysis, the prototype was identified with the ideal material to produce a comparative table of results and finally to construct the final prototype.

Keywords: CAD, Simulation, CFD, Prototype.

Introducción

La aerodinámica de los vehículos tiene su origen en las competencias automovilísticas en los años 80 en el continente Europeo, en ese entonces los ingenieros experimentaban diferentes diseños y formas que permitían aumentar la velocidad en los automóviles, con el objeto de tener éxito en las diferentes pistas de competencia se ha ido innovando diseños aerodinámicos para con ello permitir un rendimiento eficiente en el MCI (motor de combustión interna), precisamente en su sistema de enfriamiento, ya que su función principal es moderar la temperatura interna del MCI con el fin de llevar a cabo un trabajo adecuado.

La aerodinámica, se centra en la fuerza que sufre un cuerpo al moverse por consecuencia del aire, uno de los factores determinantes es la velocidad respectiva de un cuerpo con relación al medio en el que se desenvuelve, para conocer la aerodinámica en los vehículos es necesario enfocarse en el estudio de diferentes coeficientes que en ocasiones resultan difíciles de determinar de forma artesanal, éstos pueden ser: presiones, fuerza de arrastre, coeficientes aerodinámicos, entre otros. Sin embargo, gracias a la evolución de la tecnología, existen en la actualidad medios e instrumentos como el análisis computacional que facilitan el estudio de estos factores brindando facilidades a los ingenieros y principales industrias concentradas en esta rama.

Actualmente en países desarrollados, la aerodinámica se estudia a través del uso de software especializado en diseño mecánico CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), la cual se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas; así como también mediante túneles de viento, que permiten a los operadores (técnicos) modificar los modelos de diseño precisamente con costos reducidos, a esto se considera que el estudio por CFD tiene mejor acogida por los

ingenieros en diseño mecánico, debido al tiempo y a la facilidad de modificar parámetros para el análisis.

En el Ecuador existen estudios aerodinámicos en vehículos de competición, como es la *Formula Student* y autobuses interprovinciales realizados mediante software, tales como el CFD, lo cual es de gran utilidad ya que permiten contar con una línea base que sirva de referencia para realizar este tipo de estudios.

Cuando se habla del análisis aerodinámico en los autobuses, uno de los componentes que se pueden estudiar es precisamente su persiana frontal, esto debido a que a consecuencia del viento, cuando el autobús se dirige a grandes velocidades se genera una fuente de ventilación frontal eficiente que permite mitigar los posibles riesgos causados debido al recalentamiento del MCI e inclusive eliminando la acción de elevar de forma manual o mecánica la persiana frontal del autobús para mayor ingreso de aire.

El Consorcio Mejía Brito constituye una compañía de transporte terrestre de tipo urbano, cuyo objetivo es el traslado de personas en las rutas Machachi – Quito, Cayambe, Saquisilí y Latacunga. Está conformado por un total de 81 unidades de buses, distribuidos de la siguiente manera: 55 unidades de buses Mejía y 26 unidades de buses Carlos Brito.

La flota de unidades ejecuta el transporte de pasajeros de domingo a domingo en los horarios de 04h00 a 21h30. Esto hace que el funcionamiento de las unidades sea constante y que en consecuencia el motor de combustión interna (MCI) de las mismas trabaje todo el tiempo, por otro lado, es importante tomar en cuenta que uno de los sistemas primordiales para el funcionamiento de un automotor, es el sistema de enfriamiento, cuya función principal es moderar la temperatura interna del MCI.

Como consecuencia, la implementación de éste proyecto se llevará a cabo en pos de contribuir al disminuir los problemas por recalentamiento del MC, permitiendo así a los propietarios y conductores de las diferentes unidades contar con una solución adecuada para mantener óptimas condiciones la ventilación del MCI y de esta manera evitar el levantamiento de la persiana en la unidad.

Para solución a ésta problemática se plantea como objetivo general validar el diseño de una persiana para autobús tipo AK, mediante simulación por CFD y ensayos a través de pruebas prácticas en funcionamiento para el suministro necesario del flujo de aire en el sistema de enfriamiento del MCI.

Adicionalmente se plantea como objetivos específicos:

Analizar las geometrías de persianas actuales en los autobuses, mediante la apreciación visual de los distintos modelos y su medición para tomarlas en consideración en el planteamiento del diseño propuesto y la definición de las variables de flujo de aire.

Diseñar las geometrías de persiana frontal para autobús tipo AK mediante CAD para la generación de las magnitudes geométricas.

Simular el comportamiento aerodinámico de las persianas actuales más la propuesta de diseño por medio de CFD para la comparación de las variantes de diseño.

Construir y evaluar el diseño propuesto a través de pruebas de ruta para validación de los resultados.

Estudio del arte

Antecedentes.

Actualmente en países desarrollados, la aerodinámica se estudia a través del uso de software especializado en diseño mecánico CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), la cual se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas; así como también mediante túneles de viento, que permiten a los operadores (técnicos) modificar los modelos de diseño precisamente con costos reducidos, a esto se considera que el estudio por CFD tiene mejor acogida por los ingenieros en diseño mecánico, debido al tiempo y a la facilidad de modificar parámetros para el análisis, McCallen (2006), Pankajakshan (2009).

En el Ecuador desde el 2008, existen estudios aerodinámicos en vehículos de competición, como es la *Formula Student*, UPS RACING TEAM (2017), de turismo, Aguilar (2017) y autobuses interprovinciales, Cárdenas (2014), realizados mediante software, tales como el CFD, lo cual es de gran utilidad ya que permiten contar con una línea base que sirva de referencia para realizar este tipo de estudios.

Marco conceptual.

En la actualidad, el campo de la aerodinámica contempla algunos factores primordiales para ser analizados, por ejemplo, la dinámica estructural que depende del propio movimiento y de las fuerzas generadas como consecuencia de este y donde estas características se encuentran estrechamente ligadas.

Uno de los aportes que posee el proyecto y su funcionalidad es su articulación con uno de los proyectos más importantes implementados por el Gobierno actual, como es el cambio de la matriz productiva, la misma que dentro de sus sectores priorizados y estratégicos busca fomentar

la producción local y desarrollar conocimiento e innovación, en este sentido uno de los objetivos fundamentales del proyecto es brindar una alternativa a los grandes fabricantes de automotores, que buscan mejorar la eficacia de sus procesos y brindar una estética personalizada en la fabricación de vehículos y autopartes con el fin de fortalecer la producción nacional y contribuir con el desarrollo de las industrias manufactureras.

Antes de llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto, es importante realizar un análisis de la importancia de las propiedades de los fluidos, la cual contempla el estudio de las características y propiedades del aire.

Dinámica de fluidos

Daza (2011) define al aire como un gas insípido incoloro e inodoro, el cual puede clasificarse en aire seco y aire húmedo, posee la propiedad de ser un transportador ya sea de frío, vapor, humo, calor olores, suciedad, polvo y sonido.

Pucha (2016) manifiesta que la velocidad del aire o viento constituye, una fina capa fluida, y turbulenta con intensidad variable, se produce por las diferencias de temperatura, cuando el calentamiento es desigual en diferentes partes de la tierra, así como también de la atmosfera.

Mott (2006) define a la presión como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia.

Pucha (2016) establece mecanismos que permiten mediar la temperatura, estos mecanismos consisten en la definición de una escala usada para medir la intensidad de calor, misma que según este autor se produce cuando la radiación solar calienta la capa terrestre, y esta

temperatura se transmite a las capas inferiores de la atmósfera con mayor intensidad, cuan más lejanas sean las capas exteriores la temperatura disminuirá progresivamente.

Lanas (2007) sobre el concepto de densidad todos los fluidos, incluido el aire, están formados por un número extremadamente grande de moléculas; todas ellas están ligadas entre sí, y separadas ciertas distancias (no todas iguales); cuanto más unidas están todas las moléculas, decimos que el fluido posee más densidad que otro; lógicamente, un fluido con más densidad que otro, pesa más, por cuanto tiene mayor masa, al tener más moléculas; por otra parte, estas consideraciones, no tiene valor, si no se referencian respecto un volumen; por tanto, definimos densidad, como la cantidad de moléculas por unidad de volumen.

Aparicio (2016) menciona que la aerodinámica vehicular tiene como objeto el estudio del conjunto de acciones y efectos que ejerce el aire sobre el vehículo en movimiento, así como la forma de lograr que éstos sean lo más favorables posible.

Oro (2012) acerca de CFD, este acrónimo adoptado directamente del inglés hace referencia a la rama de la Mecánica de Fluidos denominada Computational Fluid Dynamics, traducida normalmente al castellano como Fluidodinámica Computacional o Dinámica de Fluidos Computacional, y que consiste en el empleo de computadores y de técnicas numéricas para resolver todos aquellos problemas físicos que están relacionados con el movimiento de los fluidos y, en ocasiones, de otros fenómenos asociados como la transferencia de calor, las reacciones químicas, el arrastre de sólidos, etc. En general, el CFD comprende un amplio abanico de disciplinas científicas, entre las que cabe destacar a las matemáticas, la programación, las ciencias físicas y la ingeniería, que deben aunarse para dar lugar el desarrollo de un código que sea capaz de resolver las ecuaciones del flujo de manera satisfactoria. Por lo tanto, el objetivo final es la creación de un software (programa numérico) que proporcione el cálculo

detallado del movimiento de los fluidos por medio del empleo del ordenador (capaz de ejecutar una gran cantidad de cálculos por unidad de tiempo) para la resolución de las ecuaciones matemáticas que expresan las leyes por las que se rigen los fluidos.

Líneas de Corriente.

Morocho (2011) indica que las líneas de corriente son la trayectoria seguida por las partículas de un fluido en movimiento, es decir las velocidades de las moléculas por donde pasan las líneas son tangentes como se ilustra en la figura 1.

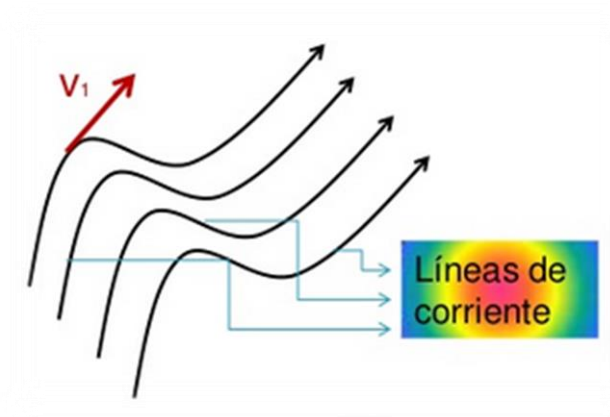


Figura 1. Líneas de Corriente. Por Morocho, (2011)

Cuando todo elemento que pasa por un punto dado sigue la misma línea de corriente que los elementos precedentes se dice que el flujo es estacionario por lo que tendrá la misma velocidad.

Líneas de trayectoria

Pucha (2016) indica que son rutas específicas que siguen las partículas líquidas en función del tiempo como se ilustra en la figura 2.

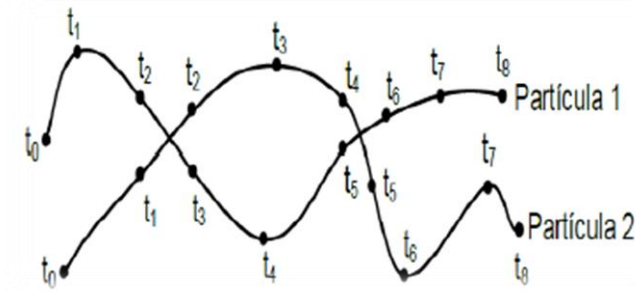


Figura 2. Líneas de trayectoria. Recuperado de PUCHA, (2016)

Capa límite.

Carsolio (2011) definen la capa límite como la velocidad del fluido que se incrementa conforme se aleje de la superficie hasta igualar la velocidad del aire de impacto. Las condiciones de desprendimiento de la capa limite dependen del ángulo de ataque del perfil ya que al ir aumentando el flujo se presenta prematuramente hasta que el perfil entra en pérdida, como se observa en la figura 3.

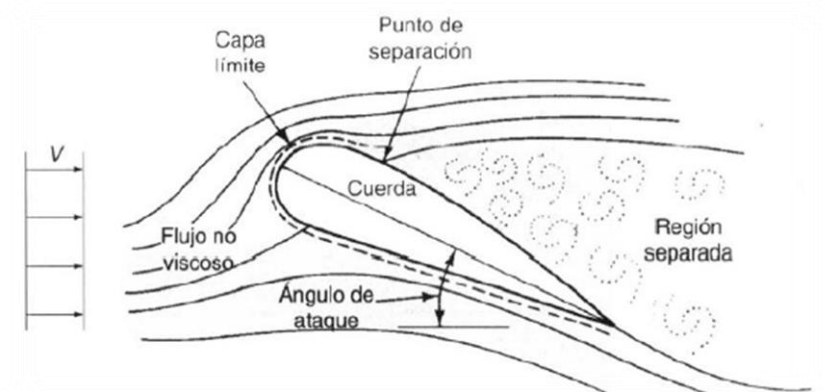


Figura 3. Capa limite sobre un perfil aerodinámico. Por Carsolio, (2011)

Fluido.

Melo (2010) en su obra, considerando el comportamiento que exhiben los fluidos, más no la composición de los mismos, estos se definen de la siguiente manera: fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando está sometido a un esfuerzo de corte, por tanto, en

ausencia de éste, no habrá deformación; de ésta definición se desprende que un fluido en reposo no soporta ningún esfuerzo de corte.

Características.

Según Lanas (2007) las características principales de los fluidos son:

- Los fluidos son sustancias capaces de fluir.
- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad

Clasificación general de los fluidos.

Según Cercas (2009) los fluidos se dividen en líquidos y gases:

- Los líquidos a una presión y temperatura determinadas adoptan u ocupan un volumen determinado.
- Los gases a una presión y temperatura determinadas tienen también volumen determinado, pero puesto en libertad se expansionan hasta ocupar su volumen completo del recipiente que los contiene y no presentan superficie libre.

En resumen los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen.

Los fluidos newtonianos son aquellos fluidos donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la rapidez de deformación; son prácticamente newtonianos bajo condiciones normales la mayor parte de los fluidos comunes como el agua, el aire y la gasolina.

Los fluidos no newtonianos, al referirse el término no newtoniano; éste se utiliza para clasificar todos los fluidos donde el esfuerzo cortante no es directamente proporcional a la rapidez de deformación; es decir la viscosidad es en pocas palabras la resistencia que ponen los fluidos a deformarse, por ejemplo la glicerina que en comparación con el agua presenta mayor resistencia para su deformación, de ahí que se denomine con mayor viscosidad que el agua.

Propiedades de los fluidos.

Según Mott (2006) se define:

Densidad.

Es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia. Por tanto, si se denota la densidad con la letra grieta ρ (rho), se establece con la ecuación 1.

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

Donde:

$$\rho = \text{Densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$m = \text{Masa} (kg)$$

$$V = \text{Volumen} (m^3)$$

Peso específico.

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Si se denota el peso específico con la letra griega γ (gamma), entonces se establece con la ecuación 2.

$$\gamma = \frac{w}{V}; \frac{m \cdot g}{V} \quad (2)$$

Donde:

$\gamma = \text{Peso específico}$

$w = \text{Peso (N)}$

$m = \text{Masa (kg)}$

$g = \text{Gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$

Gravedad específica.

Se define de dos maneras, como la razón de la densidad de una sustancia a la densidad del agua a 4°C y como la razón del peso específico de una sustancia al peso específico del agua a 4°C. En notación matemática, estas definiciones de gravedad específica se expresan como en la ecuación 3.

$$sg = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Donde:

El subíndice s se refiere a la sustancia cuya gravedad específica se va a determinar, y el subíndice w se refiere al agua. Las propiedades del agua a 4°C son constantes, y tienen los valores:

$$\gamma_w = 9.81 \frac{kN}{m^3}$$

$$\rho_w = 1\,000 \frac{kg}{m^3}$$

Es decir,

$$sg = \frac{\gamma_s}{9.81 \frac{kN}{m^3}} = \frac{\rho_s}{1000 \frac{kg}{m^3}} \quad (3)$$

Viscosidad.

Es una propiedad primordial dentro del estudio de los fluidos, en la cual (Mott 2006) define como la propiedad de un fluido, que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas; donde la pérdida de energía debida a la fricción, en un fluido que fluye se debe a su viscosidad.

Viscosidad dinámica.

Según (Mott 2006) conforme un fluido se mueve, dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define al esfuerzo cortante, denotado con la letra griega τ (tau), como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. Entonces, τ es una fuerza dividida entre un área, y se mide en las unidades de $\frac{N}{m^2}$ (Pa) o $\frac{lb}{pie^2}$. En fluidos como el agua, el alcohol u otros líquidos comunes, la magnitud del esfuerzo cortante es directamente proporcional al cambio de velocidad entre las posiciones diferentes del fluido. El gradiente de velocidad es una medida del cambio de velocidad, y se define como $\frac{\Delta v}{\Delta y}$, también se la denomina tasa cortante. El hecho de que el esfuerzo cortante en el fluido sea directamente proporcional al gradiente de velocidad se enuncia en forma matemática como en la ecuación 4.

$$\tau = n * \left(\frac{\Delta v}{\Delta y} \right)$$

$$n = \left(\frac{\tau}{\Delta v} \right) \frac{\Delta y}{\Delta y}$$

$$n = \tau * \left(\frac{\Delta y}{\Delta v} \right) \quad (4)$$

Donde:

$$\tau = \text{Esfuerzo cortante} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$n = \text{Viscosidad dinámica del fluido} \left[N * \frac{s}{m^2} \right]$$

$$\Delta v = \text{Gradiente de velocidad} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\Delta y = \text{Variación de la posición} [m]$$

Viscosidad cinemática.

Muchos cálculos de la dinámica de fluidos involucran la razón de la viscosidad dinámica en la densidad del fluido. Por conveniencia, la viscosidad cinemática ν (letra un, en griego) se define como la ecuación 5.

$$\nu = \frac{n}{\rho} \quad (5)$$

Donde:

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$n = \text{Viscosidad dinámica del fluido} \left[N * \frac{s}{m^2} \right]$$

$$\rho = \text{Densidad} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Temperatura atmosférica.

Es importante tomar en cuenta que éste parámetro indica el nivel de calor que posee el aire en un lugar y momento determinado.

Principio de Bernoulli

El Efecto Venturi según Burbano (2013) ocurre cuando se observa el flujo a través de un tubo y es posible analizar si el mismo se encuentra ubicado de forma horizontal, lo cual garantiza que no existirá variación en la altura y la presión sobre esta línea horizontal será la misma; bajo estas condiciones la velocidad de un fluido es inversa con la presión: entre mayor sea la velocidad del fluido, menor es la presión en ese punto. Se observa un tubo con una sección ancha 1 y delgada en 2 (figura 4). El líquido que pasa por la sección 1 tiene menor velocidad, que en la sección 2, pero en la sección 1 hay mayor presión, que en la sección 2 $v_1 < v_2$ y $P_1 > P_2$.

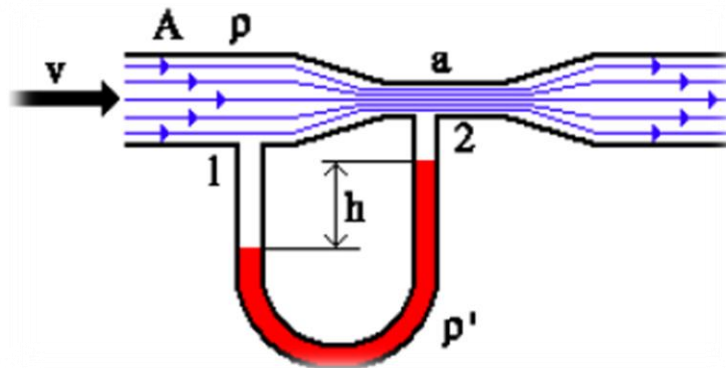


Figura 4. Diagrama del tubo de Venturi. Recuperado de VALERO, (2011)

Giancoli (2006) los aviones experimentan una fuerza neta en dirección hacia arriba, llamada fuerza de sustentación que los mantiene en el aire. Pijush K Kundu, (2011) esta fuerza se aplica sobre las alas, teniendo en cuenta factores como la forma del ala, la velocidad del avión y la inclinación con respecto a las líneas del flujo del aire (figura 5); esto permite que las líneas de

corriente sobre el ala se acercan sobre el ala y por debajo se alejan, por principio de Bernoulli esto genera una diferencia de presión, menor arriba que abajo del ala y hace que el avión vuele.

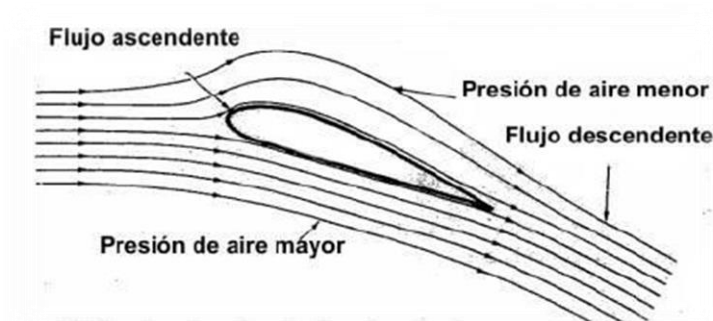


Figura 5. Flujo de aire alrededor de un corte transversal de un ala de un avión. Por GONZALEZ, (2017)

Flujo laminar y flujo turbulento

Streeter (2016) define el flujo laminar como aquel flujo en el cual el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose una fina capa sobre la adyacente con solo un intercambio molecular de cantidades de movimiento. Cierta tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia es frenada por las fuerzas de cortadura viscosas que resisten los movimientos relativos de las capas fluidas adyacentes. El flujo turbulento, en cambio, tiene un movimiento de partículas fluidas muy errático, con un violento intercambio transversal de cantidades de movimiento. La naturaleza del flujo, es decir, el que sea laminar o turbulento (figura 6) y su posición relativa en una escala que indica la importancia relativa de la tendencia a que sea laminar o turbulento, se expresa por el número de Reynolds.

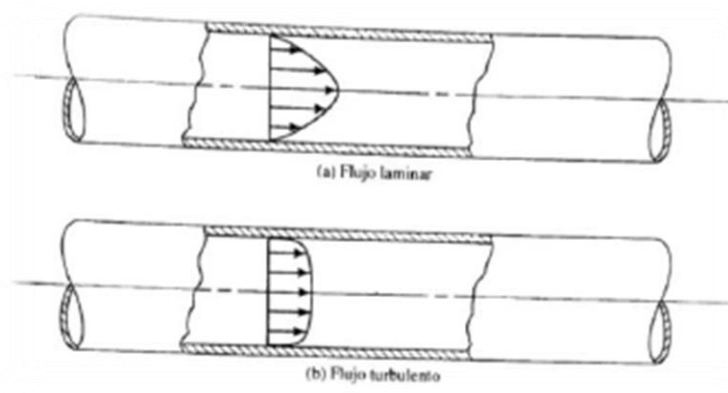


Figura 6. Flujo Laminar y turbulento. Recuperado de Mott, (2006)

Número de Reynolds

Según Mott (2006) es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se desarrolla a partir de la segunda ley del movimiento de Newton; la fuerza viscosa se relaciona con el producto del esfuerzo cortante por el área.

Donde la ecuación 6 de que define este parámetro es:

$$Re = \frac{\rho v A}{\mu} \quad (6)$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds (Valor Adimensional)

ρ = Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$].

v = Velocidad del fluido (vehículo) [$\frac{m}{s}$].

A = Área frontal del vehículo [m^2].

μ = Viscosidad dinámica [Pa.s]

El resultado es adimensional, y se compara con los parámetros estipulados por Reynolds, para determinar si el fluido es laminar o turbulento como se muestra a continuación.

Si $Re < 2000$, el flujo es laminar

Si $Re > 4000$, el flujo es turbulento.

$2000 \leq Re \leq 4000$ El flujo es transitorio

Número de Mach

El número de Mach según la literatura de Pucha (2016), es el cociente entre la velocidad de un móvil, y la velocidad del sonido, dentro del medio que se mueve es un número adimensional y depende de la temperatura. La ecuación 7 define este parámetro:

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (7)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T}$$

Donde:

$M = \text{Número de Mach}$

$V = \text{Velocidad del móvil}$

$V_s = \text{Velocidad de transmisión del sonido}$

$K = \text{Constante} = 1,4$

$R = \text{Constante de los gases} = 287 \frac{J}{kg^{\circ}K}$

$T = \text{Temperatura del lugar de estudio.}$

Se puede considerar lo siguiente de acuerdo al número de Mach:

Subsónico $M < 0,7$

Transónico $0,7 < M < 1,2$

Supersónico $1,2 < M < 5$

Hipersónico $M > 5$

El número de Mach dentro de la mecánica de fluidos, tiene relación con la compresibilidad de un gas en base a los siguientes parámetros.

Es un fluido incompresible cuando $Mach \leq 0,3$ y compresible cuando $Mach \geq 0,3$

Carga aerodinámica

López (2008) define que la carga aerodinámica es la fuerza que empuja a un alerón hacia el suelo cuando éste se desplaza por el aire. Esta fuerza hace que el automóvil tenga mejor apoyo aerodinámico, es decir, tenga mayor fuerza de agarre con el suelo (figura 7).

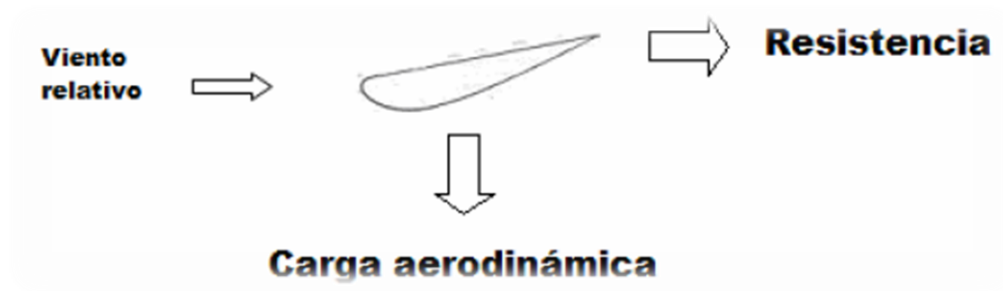


Figura 7. Carga aerodinámica. Por López, (2008)

Mott (2006) define que la carga aerodinámica conocida también como fuerza de sustentación, es la fuerza ocasionada por un fluido en dirección perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo, dirigido verticalmente hacia arriba o hacia abajo.

La fuerza de sustentación está dada por la siguiente ecuación 8:

(8)

$$F_L = \frac{(C_L)(\rho)(V^2)(A)}{2}$$

Donde:

F_L = Fuerza de Sustentación [N].

C_L = Coeficiente de Sustentación adimensional.

ρ : Densidad del aire (1,2) [$\frac{kg}{m^3}$].

A: Área frontal del vehículo [m^2].

V: Velocidad del vehículo [$\frac{m}{s}$].

Coeficiente de sustentación.

López (2008) depende del perfil y del ángulo de ataque. Así que para un mismo perfil la gráfica C_L – ángulo de ataque sería como el de la figura 8. Consta de una primera zona lineal hasta llegar a un punto en que empieza a descender el C_z aunque crece el ángulo, en esta zona es donde se desprende la capa límite (el aire no es capaz de seguir el contorno del perfil y se separa de éste) y el perfil entra en pérdida.

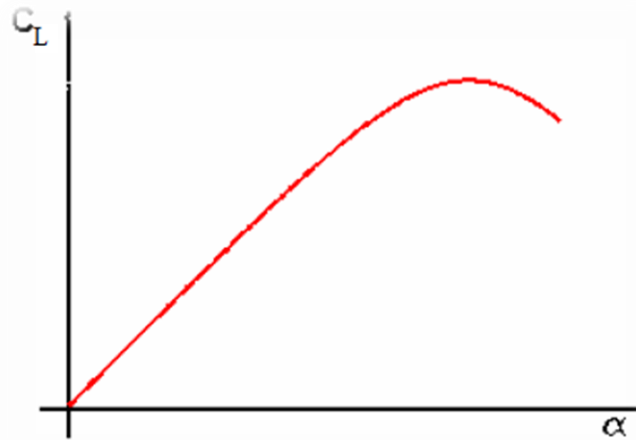


Figura 8. Gráfica del coeficiente de sustentación en función del ángulo de ataque. Recuperado de López, (2008)

El coeficiente de sustentación se define como en la ecuación 9:

$$C_L = \frac{2 \cdot F_L}{(\rho)(V^2)(A)} \quad (9)$$

Donde:

F_L = Fuerza de Sustentación ó carga aerodinámica [N].

C_L = Coeficiente de Sustentación (adimensional).

ρ : Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$].

A : Superficie frontal [m^2].

V : Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$].

Resistencia aerodinámica.

Conocida también como fuerza de arrastre; Mott (2006) establece que es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por un fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo

del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre las aeronaves, automóviles, camiones y trenes. La fuerza de arrastre debe contrarrestarse por medio de una fuerza de propulsión en la dirección opuesta, con el fin de mantener o incrementar la velocidad del vehículo. Como la generación de una fuerza de propulsión requiere que se agregue energía, es deseable minimizar el arrastre.

La fuerza de Arrastre está determinada por la ecuación 10:

$$F_D = \frac{(C_D)(\rho)(V^2)(A)}{2} \quad (10)$$

Donde:

F_D : Resistencia aerodinámica total ó fuerza de arrastre [N].

C_D : Coeficiente de resistencia o arrastre

ρ : Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$].

A: Área perpendicular al movimiento del fluido [m^2].

V: Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$].

Coeficiente de arrastre.

Pucha (2016) el coeficiente de arrastre dentro de la dinámica de fluidos, es un número adimensional utilizado para considerar la resistencia de un objeto en movimiento dentro de un fluido, ya sean gases o líquidos. Este coeficiente se asocia siempre con una superficie en particular.

El coeficiente de Arrastre está definido por la ecuación 11:

$$C_D = \frac{(2)(F_D)}{(\rho)(V^2)(A)} \quad (11)$$

Donde:

C_D : Coeficiente de resistencia o arrastre

F_D : Resistencia aerodinámica total ó fuerza de arrastre [N].

ρ : Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$].

V : Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$].

A : Área perpendicular al movimiento del fluido [m^2].

Eficiencia Aerodinámica.

Este parámetro a ser calculado corresponde a la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de arrastre McBeath (2000). Se define de la siguiente manera en la ecuación 12:

$$Eficiencia\ Aerodinámica = \frac{C_L}{C_D} \quad (12)$$

Donde:

C_L = Coeficiente de Sustentación (adimensional).

C_D : Coeficiente de resistencia o arrastre

Potencia absorbida.

Mott (2006) es la potencia necesaria para vencer la resistencia del aire, es la cantidad de energía en unidad de tiempo que se necesita para mover el vehículo.

Este parámetro se define en la ecuación 13.

$$Pa = \frac{1}{2} C_x \rho A V^3 \quad (13)$$

Donde:

Pa = Potencia necesaria para vencer la resistencia del aire [W].

Cx= Coeficiente de Penetración (Adimensional).

A= Superficie frontal del cuerpo perpendicular al movimiento del fluido [m²].

V= Velocidad del Fluido [$\frac{m}{s}$].

Resistencia del aire.

Normalización (2009) define la resistencia del aire como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

Está definido por la ecuación 14.

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho A_f V^2 \quad (14)$$

Donde:

R= Resistencia del aire [N].

Cx= Coeficiente de Penetración (Adimensional).

ρ = Densidad del aire [$\frac{kg}{m^3}$].

V= Velocidad del fluido (Aire) [$\frac{m}{s}$].

A_f = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal (m^2)

El estudio de estas fuerzas es fundamental, ya que en un análisis aerodinámico, las mismas son las causantes de generar adherencia y estabilidad al vehículo, por dicha razón se pondrá mucho énfasis al estudio metodológico de dichas fuerzas en el diseño de los prototipos de persiana.

Dentro de la elaboración de este proyecto se explicará algunos términos y definiciones que son de vital importancia para la comprensión del estudio CFD, en el cual John D. Anderson, Jr. 1995 define a éste estudio como el arte de reemplazar las integrales o las derivadas parciales (según sea el caso) en las ecuaciones de Navier-Stokes por formas algebraicas discretizadas, que a su vez se resuelven para obtener números para los valores del campo de flujo en puntos discretos en el tiempo y / O espacio.

Aerodinámica de un autobús

La dimensión y el diseño frontal inciden en la aerodinámica de un autobús, siendo afectada por factores como, la resistencia aerodinámica, sustentación y adherencia. De igual manera que en autos, camiones y otros vehículos que se mueven a altas velocidades, en un autobús es indispensable analizar su comportamiento aerodinámico, por lo que se debe considerar en la zona de ataque cuando el viento impacta frontalmente.

En el caso de los autobuses, estos poseen una persiana frontal que limita el ingreso del aire, para ello es necesario llevar a cabo operaciones manuales y/o mecánicas que permiten elevar o descender la misma y que no facilitan el flujo del aire en el vehículo, en este sentido, en el presente trabajo se propone la construcción de una persiana frontal con ranuras que faciliten el

ingreso de aire hacia al habitáculo del MCI y que permitan mejorar su enfriamiento y beneficiar el rendimiento del autobús cuando éste se encuentre en movimiento.

Adicionalmente es de vital importancia poner énfasis en el estudio del diseño CAD, ya que partiendo de ahí se mejorará considerablemente la aerodinámica, con respecto al ingreso adecuado de fluido.

Evolución de las persianas.

Con la evolución de la aerodinámica, se establecieron nuevos mecanismos para el ingreso de aire al MCI de los autobuses, un ejemplo de ello es el desarrollado en los años 90, en el cual se fabricó mascarillas con configuración frontal tipo arco (figura 9), seguida por la de tipo rectangular cromada (figura 10); éstos modelos únicamente se diferenciaban en su geometría, más no en su principio de funcionamiento y fueron desarrollados para elevar de forma manual; sin embargo, después del año 1995 las carrocerías del país mejoraron considerablemente mediante el uso de mecanismos automatizados que optimizaban únicamente la forma de elevar y descender las cubiertas, más no se enfocaban en el diseño propio de una persiana.



Figura 9. Persiana frontal tipo arco. Fuente: Propia



Figura 10. Persiana frontal rectangular cromada. Fuente: Propia

El diseño de persiana de la figura 11 cubre toda la parte delantera de esquina a esquina, mejora notablemente la seguridad pero posee inconvenientes, ya que a altas velocidades el autobús se tendría que levantar la misma para el ingreso de flujo de aire al habitáculo del M.C.I. y así evitar el recalentamiento del mismo.



Figura 11. Persiana frontal rectangular. Fuente: Propia

Por consiguiente el diseño de la figura 12, muestra un diseño más estético, pero a la vez este diseño no permite la entrada libre de aire fresco hacia el M.C.I.



Figura 12. Persiana frontal tipo larguero. Fuente: Propia

Flujo externo

El flujo externo es aquel que se basa directamente a las situaciones climatológicas, en el cual se encuentran circulando aviones, trenes, automotores entre sí. La presión atmosférica y la temperatura son factores primordiales que determinan el ingreso a un software CFD, que aplica directamente el estudio de la dinámica de fluidos computacional y en base a esto analiza cualquier prototipo, ya sea en este caso una persiana de autobús tipo AK para así obtener resultados aproximados a la vida real de su comportamiento aerodinámico.

Materiales de persianas para autobuses

El material de las persianas debe ser metálico dúctil de estructura metálica, podrá estar constituida de perfiles metálicos o cualquier otro material que ofrezca resistencia y seguridad.

Los materiales para la construcción de la persiana del autobús están definidos de los siguientes materiales, los cuales se describen a continuación en la tabla 1 y tabla 2 cada uno con sus propiedades mecánicas y químicas respectivamente.

Tabla 1.

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

| Propiedad mecánica | Unidad |
|---------------------------|---------------|
| Esfuerzo a la fluencia | 250 MPa |
| Resistencia a la Tracción | 400 MPa |
| Elongación en 2 plgs | 20 % |

*Nota: Andrade (2012)***Tabla 2.**

Composición química del acero ASTM A36

| Composición Química | % Peso |
|----------------------------|---------------|
| Carbono (C) | 0.26 máx. |
| Fósforo (P) | 0.040 máx. |
| Azufre (S) | 0.05 máx. |

Nota: Andrade (2012)

En este sentido, lo antes descrito se considera para la construcción de estructuras metálicas remachadas, atornilladas o soldadas.

En el país este tipo de acero considerablemente es el más utilizado para la construcción de carrocerías en general para autobuses.

Ecuaciones de Navier-Stokes

Navier e independiente, G. Stokes en 1845 introdujeron en el modelo el factor de viscosidad, aplicando directamente al comportamiento atmosférico proporcionando una excelente utilidad para aplicaciones de ingeniería en la actualidad; como en la industria aeronáutica, mecánica automotriz, es decir que se encuentren relacionadas a los fluidos newtonianos, las diferentes ecuaciones modelan a partir de la segunda ley de Newton,

relacionando considerablemente la aceleración y a las fuerzas que actúan sobre las mismas; estas a la vez se asocian con ecuaciones de momento y continuidad originándose las ecuaciones de Navier-Stokes, esta involucra la presión, viscosidad, rozamiento de moléculas y posibles fuerzas externas como es la gravedad.

CFD tiene como base primordial las ecuaciones de Navier-Stokes, facilitando de ésta manera análisis y estudios complejos a la ingeniería con soluciones a través del CAD, de esta manera se simulará y se analizará en diferentes configuraciones el flujo de fluido a la persiana del autobús, para la obtención de resultados aproximados.

Gazolaz (2011) Las ecuaciones de Navier-Stokes nacen de la ley de conservación de masa y de la segunda ley de Newton, como se define en la ecuación 15.

Segunda Ley de Newton: $D_t = (\rho u) = \text{Fuerza}$

Conservación de masa junto con la incompresibilidad: $D_t(\rho) = 0$

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u * \nabla u_i \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i + f_{\epsilon^i}, \quad (15)$$

$$\nabla * u = 0,$$

$$\rho t + u * \nabla \rho = 0.$$

Dónde:

$u = (u_1, u_2, u_3), u_1 = u_1(x_1, x_2, x_3, t); \text{Velocidad del fluido}$

$p = p(x_1, x_2, x_3, t); \text{Presión}$

$\rho = \rho(x_1, x_2, x_3, t); \text{Densidad}$

$V = \text{cte} \geq 0; \text{Viscosidad}$

$f_{\epsilon} = (f_{\epsilon^1}, f_{\epsilon^2}, f_{\epsilon^3});$ Fuerza externa

Volúmenes finitos

Pucha (2016) Este método emplea una discretización espacial; es decir la aproximación de una variable continua en un número finito de puntos. La ecuación de integración de Navier-Stokes, es aproximada por la suma de los flujos que atraviesan las caras de los poliedros. La discretización espacial se desarrolla en el espacio físico del problema, es decir es un método en el cual se puede efectuar mallas estructuradas y no estructuradas, de esta manera llevar a cabo estudios de los fluidos y de geometrías complejas.

Diferencias finitas

Pucha (2016) Método a través de una aproximación de las derivadas parciales, por expresiones algebraicas con los valores de la variable dependiente, asignando un cierto número de puntos espaciados sobre el dominio, el valor de estos puntos se convierten en incógnitas, y empieza el análisis algebraico.

Características y tipo de mallado

Oro (2012), en su obra "Introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos" plantea que la generación de la malla es la parte más importante en la preparación de un modelo para simulación por CFD. Ninguna simulación puede realizarse sin haber previamente definido una malla con una distribución de puntos (celdas) apropiada.

El tipo de conectividad existe entre los diferentes puntos (celdas) de la malla permite clasificar los mallados en dos categorías básicas: mallas estructuradas y mallas no estructuradas. En las primeras, la retícula de celdas se construye a partir de una red de familias de líneas

coordenadas; mientras que en las segundas la red no sigue ningún tipo de dirección preferente (figura 13).

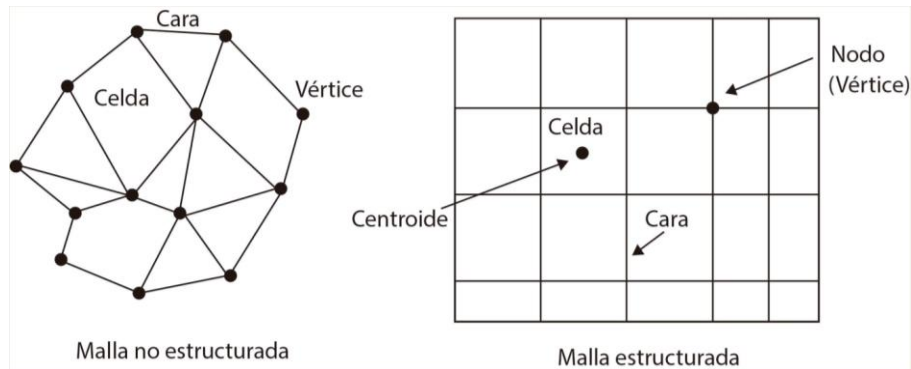


Figura 13. Terminología empleada en el método de volúmenes finitos. Recuperado de Oro, (2012)

Mallados estructurados.

Los mallados estructurados son, de algún modo, la elección más “natural” para resolver un flujo determinado, pues éste estará generalmente alineado con las direcciones principales de la malla. En cierto sentido, las líneas de la malla siguen a las líneas de corriente, las cuales se alinean con los contornos sólidos del dominio.

Los mallados estructurados pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Mallas cartesianas uniformes,
- Mallas cartesianas no uniformes,
- Mallas *body-fitted* estructuradas y
- Malas multibloque.

En la figura 14 se ilustra ejemplos de mallas estructuradas.

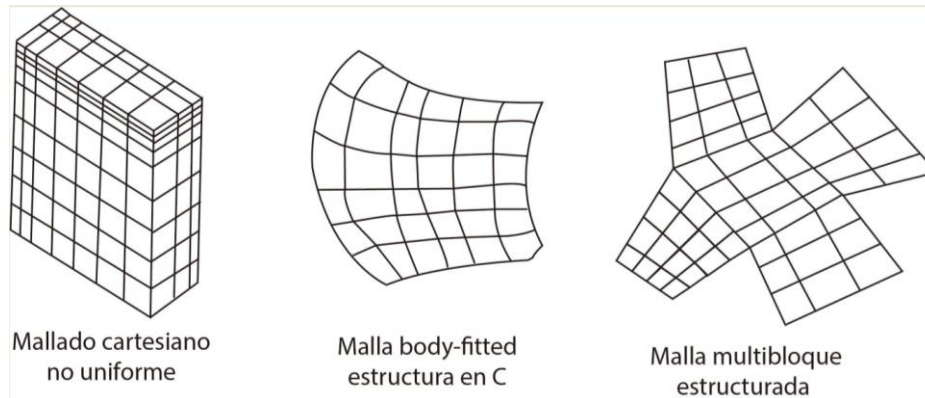


Figura 14. Ejemplos de mallas estructuradas. Por Oro, (2012)

Mallados no estructurados.

Los mallados no estructurados se han ido convirtiendo en el estándar para el CFD de uso industrial debido a la imposibilidad de generar mallas estructuradas de forma completamente automática sobre geometrías arbitrarias.

Las mallas no estructuradas permiten a través de algoritmos de generación como las técnicas de avance frontal y de triangularización de Delaney, cubrir con celdas tetraédricas cualquier dominio tridimensional sin necesidad de conocer a priori las topologías constitutivas del mismo.

- Los mallados no estructurados pueden clasificarse de la siguiente forma:
- Mallas triangulares (2-D)/tetraédricas (3-D),
- Mallas hídricas,
- Mallas cuadriláteras (2-D)/hexaédricas(3-D) y
- Mallas arbitrarias.

En la figura 15 se ilustra ejemplos de mallas no estructuradas.

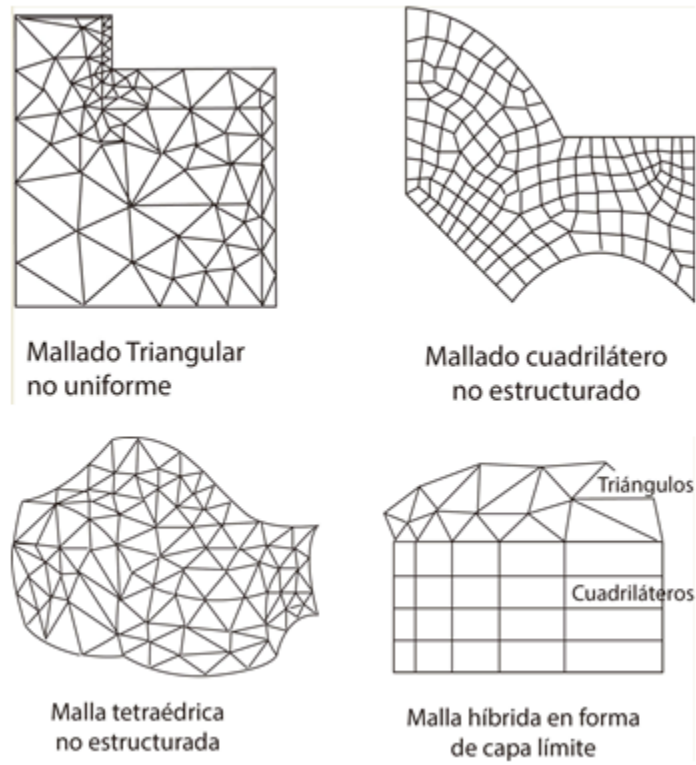


Figura 15. Ejemplos de mallas no estructuradas. Recuperado de Oro, (2012)

Método

Se aplicará en el presente proyecto el método de investigación experimental - analítico, en el cual: el primero consiste en obtener datos basados en simulaciones y mediciones con un termómetro infrarrojo digital tipo pistola, previo a este proceso se empezará con la etapa de diseño computacional 3D de la autoparte a ser analizada (persiana). Seguidamente el segundo consiste en poner énfasis en la medición exacta, es decir en la descomposición de toda la geometría externa de la persiana original del autobús, para que en la fase de diseño computacional de fluidos al estar más detallado el modelo, mejores serán los resultados.

Tomando en cuenta el uso de los métodos expuestos anteriormente para la realización de este proyecto, los mismos son indispensables porque permitirán la evaluación y validación de resultados.

Método de investigación cualitativa y cuantitativa

Para la aplicación de las pruebas con el objetivo de determinar la velocidad y flujo del aire en la ruta que efectúa el Consorcio Mejía Brito, se llevarán a cabo a través de la aplicación de métodos cualitativos, ya que establecen una hipótesis con respecto al aprovechamiento del aire como una fuente de refrigeración del MCI de los autobuses.

A su vez el método cuantitativo está basado en el estudio de la configuración estructural de la persiana del autobús, proporcionando información como el dimensionamiento del perfil de la persiana, lo cual contribuirá a su posterior diseño y fabricación.

A si mismo se generarán datos de temperatura a partir de las pruebas realizadas mediante el uso de un termómetro infrarrojo digital tipo pistola, el análisis de estos resultados, servirán

como punto de partida para el modelado inicial en el software CAD y posterior construcción del prototipo de persiana para un autobús.

Tipo de estudio

El presente proyecto se enlaza directamente en una investigación exploratoria, donde se llevará a cabo un procedimiento sistemático e inter relacionado, donde intervengan tres etapas: diseño, simulación y fabricación, para posteriormente aplicar una investigación descriptiva mediante la cual sea posible fabricar y evaluar un diseño idóneo a través de pruebas de ruta para la validación de resultados.

Modalidad de la investigación

Según McBeath S. (2000), establece que la aerodinámica del automóvil analiza la Dinámica Computacional de los Fluidos (CFD), ya que hace uso de un ordenador para resolver complejas ecuaciones que han sido desarrolladas para modelar matemáticamente lo que ocurre en un fluido en movimiento.

Lo anteriormente mencionado, se considera una ventaja importante en el área del diseño, ya que gracias a los softwares de ingeniería se permite optimizar tiempo con respecto a cálculos manuales en la elaboración de cualquier proyecto.

Selección de instrumentos de investigación

Uno de los instrumentos de investigación que se va aplicar en este proyecto es la observación científica, lo que conlleva visualizar los procesos y resultados de forma clara, definidos y precisos. Al momento de realizar las simulaciones y las pruebas de ruta se tomará información, misma que será registrada para su posterior análisis.

Algunas de las modalidades de la observación científica que se va a utilizar es la observación directa, estructurada y de condiciones reales del medio, directa porque la persona responsable del proyecto va a estar en contacto con el proceso de fabricación, comparación y resultados del tema a investigar; estructurada debido a que se utilizan tablas, fichas, cuadros, referente a las condiciones del medio, para ello se utilizará como medio de verificación una hoja de ruta que registre las principales incidencias en el recorrido desde el punto de partida hasta su culminación.

Una herramienta más de investigación es la aplicación de una entrevista, en este sentido, se ha establecido en el presente estudio al propietario del autobús al finalizar la fase de evaluación.

Metodología

La metodología se estableció mediante una revisión sistemática del estudio del arte, ya que se analizaron las tendencias actuales referentes a la aerodinámica en vehículos y se identificó su importancia para la exploración, incluyendo a su vez métodos de investigación utilizados en la aerodinámica con respecto al flujo de aire hacia la persiana y el dimensionamiento para su instalación. Seguidamente, se plantearon temas para cumplir con los objetivos principales del proyecto, los cuales consisten en: realizar el análisis de las geometrías de persianas actuales en los autobuses, diseñar las geometrías de la persiana mediante CAD, simular el comportamiento aerodinámico de las persianas actuales más la propuesta de diseño mediante CFD y construir la persiana para evaluar el diseño propuesto a través de pruebas de ruta como se indica a continuación en la figura 16:

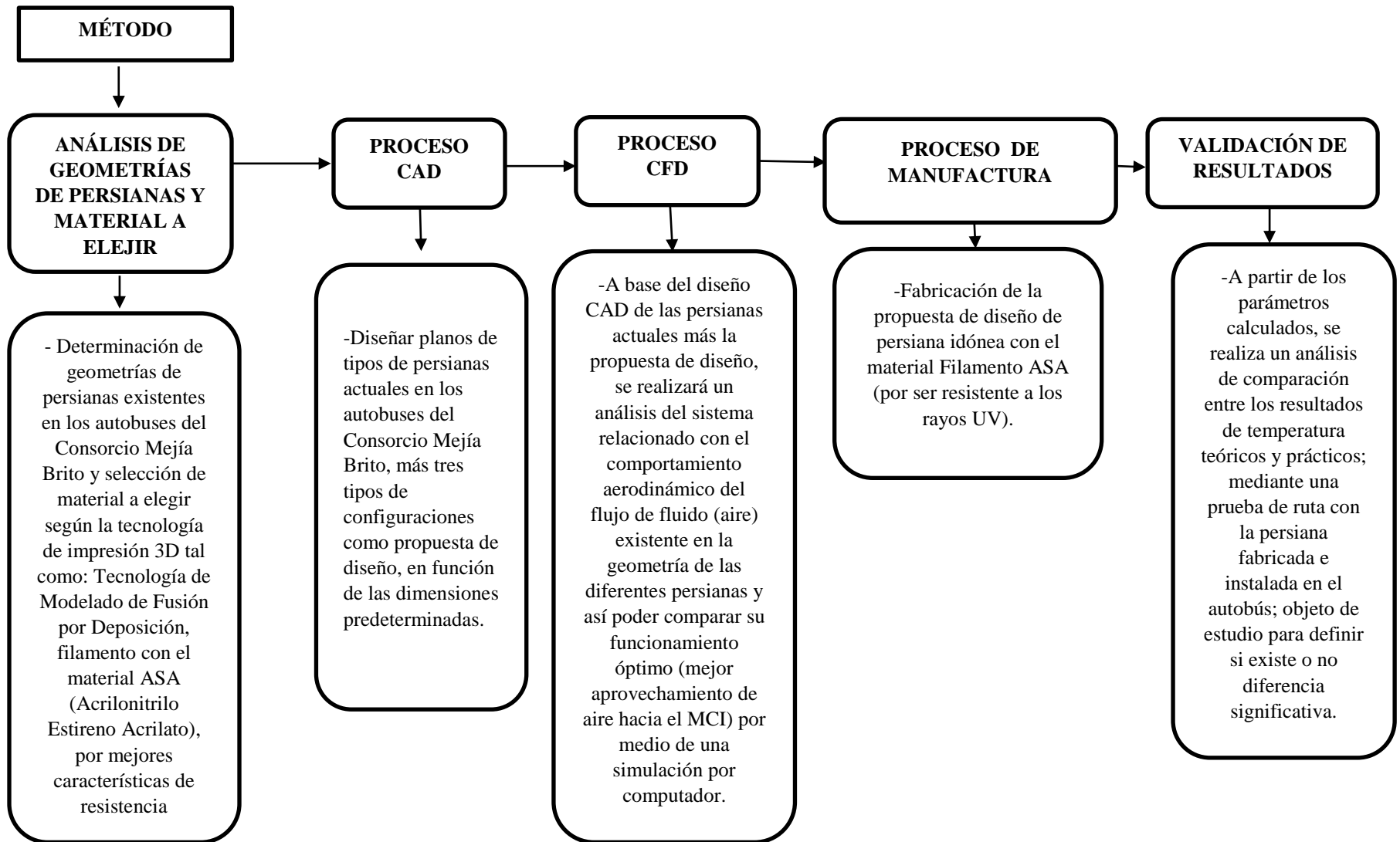


Figura 16. Temas para cumplir con los objetivos principales del proyecto. Fuente: Propia

Revisión del estudio del arte.

Se llevó a cabo a través del análisis de información secundaria como revistas, libros, tesis, bases de datos en línea y publicaciones que fueron seleccionados por su importancia relativa para los temas de ésta investigación. Los temas revisados fueron: sistema aerodinámico en vehículos pesados, materiales empleados en la fabricación de carrocerías de autobuses y factores que afectan en el recalentamiento del MCI.

Métodos experimentales.

Son aquellas técnicas que se consideraron para responder a las preguntas de la investigación, incluyendo el análisis de las geometrías de persianas actuales en los autobuses, generación de las magnitudes geométricas de la persiana frontal y simulaciones del comportamiento aerodinámico. Estos métodos serán evaluados por su idoneidad para responder a los objetivos de la investigación realizada.

Análisis de la geometría de la persiana.

Para determinar la geometría de la persiana, se procede a verificar la posición por efecto en el automotor y se analiza la altura de desplazamiento que posee dicha persiana al elevar de forma manual, con el fin de diseñar su modelo.

Para llevar a cabo este trabajo se aplicará la medición de toda la geometría externa de forma manual, determinando el ángulo de las esquinas laterales de la persiana y calculando los ángulos internos, una vez determinados los resultados de la medición se procederá a evaluarlos en 2D y 3D para verificar los canales de flujo de aire según la necesidad y de esta manera determinar la ubicación idónea de cada uno. Estos estudios se han llevado a cabo para varias aplicaciones y a su vez este método se aplica como una técnica para investigar posicionamiento

adecuado para la instalación de cualquier mecanismo con una configuración idónea. Además estos estudios fueron basados en investigaciones de laboratorio e incorporaron el ajuste de subcomponentes de autopartes especificados para que los técnicos seleccionaran la posición óptima de los componentes para de esta manera ajustarse mejor a los requisitos de la tarea de ensamblaje y mejorar la eficiencia de tiempos de trabajo.

Para la medición se tomó datos en los ocho puntos externos donde va instalada la rejilla del autobús (ángulo superior izquierdo, ángulo central izquierdo, ángulo inferior izquierdo, largo superior, ángulo superior derecho, ángulo central derecho, ángulo inferior derecho y largo inferior). La medición se realizó tres veces para aumentar la fiabilidad, cabe recalcar que dicha medición se realizó una vez que la rejilla contaba con sus acabados finales (aplicación de pintura), lo cual podría generar variación en los resultados.

Mediciones de longitud y ángulo de la persiana.

Para realizar la medición de la persiana, se tomó en cuenta longitudes geométricas directas en el lado izquierdo y derecho del habitáculo del autobús, mediante el uso de un flexómetro, como se muestra en las figuras 17 y 18.



Figura 17. Dimensionamiento lateral LH y RH. Fuente: Propia



Figura 18. Longitud superior e inferior. Fuente: Propia

A continuación en la tabla 3 se ilustra las medidas obtenidas con el flexómetro:

Tabla 3.

Medidas obtenidas en la persiana del autobús

| Descripción | Medida (mm) |
|----------------|-------------|
| Largo superior | 1 689 |
| Altura | 228 |
| Largo inferior | 1 443 |

Nota: Fuente Propia

Propuesta de diseño y simulación de la persiana

La metodología llevada a cabo para el diseño y simulación de la persiana será la siguiente:

- Medición de los diferentes modelos de persianas instauradas actualmente en los autobuses del Consorcio Mejía Brito.
- Una vez determinadas las medidas y definidas las variables de flujo de aire, se plantea la construcción del diseño propuesto.

- Análisis de los parámetros principales de la ubicación de la persiana, como son: el perfil externo, la ubicación de los elementos de sujeción, ente otros., esto se llevará a cabo con el fin de definir la posición de los ángulos de las aspas de la persiana, de tal manera que el flujo de aire ingrese de forma eficiente hacia el interior del MCI.
- Simulación del comportamiento aerodinámico de los dos tipos de persianas existentes en la flota de autobuses en comparación con el prototipo de diseño propuesto. La simulación se llevará a cabo mediante el uso de CFD, con el fin de obtener variantes de diseño que permitan comparar la eficiencia de cada uno de estos.
- Una vez determinada la eficiencia de la persiana propuesta, se llevará a cabo su fabricación mediante el uso de materiales como termoplástico, considerado un material de alta resistencia mecánica y con estabilidad ultra violeta (UV) que a su vez proporciona una mejor estética.

Construcción

Para la construcción de la persiana se utilizó tecnología de impresión en termoplástico ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato), ya que es una tecnología que proporciona facilidades en su uso, además mantiene resistencia contra rayos ultravioletas.

Validación de la persiana

La metodología de validación de la persiana se llevará a cabo mediante la aplicación de pruebas de ruta, las mismas que permitirán mantener un control del aire que ingresa al MCI con el fin de determinar la temperatura del automotor.

Es importante tener en cuenta que la configuración adecuada de la forma de la persiana evitará la acción de elevar y descender la persiana de forma manual por parte del conductor o responsable del autobús, para ello es indispensable investigar la adaptabilidad de la persiana en

el autobús utilizando la teoría de aerodinámica y el diseño en software CAD-CAE facilitando de esta manera la validez del diseño de persiana propuesta.

Por otro lado, el punto de referencia clave es la parte central donde va instalada la persiana para la evaluación en cuanto a los niveles de enfriamiento del MCI; esto debe establecerse antes de inspeccionar los puntos de anclaje de la persiana, ya que consiste en fijar el ángulo correcto de las aspas internas de la rejilla, para llevar a cabo un estándar de eficiencia.

Materiales y equipos

El material a utilizarse en este estudio es: filamento ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) (figura 19) perteneciente a la Tecnología de Modelado de Fusión por Deposición (FDM), en la tabla 4 se muestra la ficha técnica respectiva.

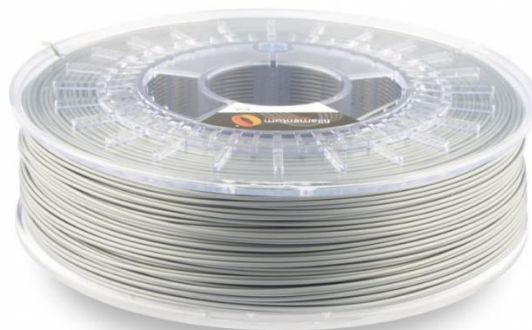


Figura 19. Acrilonitrilo estireno y acrilato. Fuente: <https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa>

Tabla 4.

Ficha técnica ASA

| Material ASA | |
|---------------------|-------------------|
| Diámetro | 1,75 mm / 2,85 mm |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Peso | 750 g |
| Tolerancia diametral | +/- 0.05 mm |
| Temperatura de impresión | 255 - 260 °C |
| Temperatura cama caliente | 110 °C |

Nota: <https://www.tresding.com/filamentos-especiales/144-fillamentum-asa.html>

La resistencia a los rayos UV que posee ASA es especialmente adecuado en las partes de uso final para el uso de una infraestructura y su amplia selección de colores y acabado mate lo hace ideal para prototipos atractivos en artículos deportivos de consumo, herramientas, componentes y accesorios automotrices.

Adicionalmente las características técnicas de ASA (acrilonitrilo estireno y acrilato) se dividen en propiedades mecánicas (tabla 5) y en propiedades térmicas (tabla 6).

Tabla 5.

Propiedades mecánicas de ASA

| MÉTODO DE PRUEBA | ESTÁNDAR | INGLÉS | | MÉTRICO | |
|---|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | ORIENTACIÓN XZ | ORIENTACIÓN ZX | ORIENTACIÓN XZ | ORIENTACIÓN ZX |
| Resistencia a la tracción, Rendimiento (Tipo 1, 0,125 ", 0,2" / min) | ASTM D638 | 4 200 psi | 3 850 psi | 29 MPa | 27 MPa |
| Resistencia a la tracción, final (tipo 1, 0,125 ", 0,2" / min) | ASTM D638 | 4 750 psi | 4 300 psi | 33 MPa | 30 MPa |

| | | | | | |
|---|--------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Módulo de tracción (Tipo 1, 0,125 ", 0,2" / min) | ASTM D638 | 290 000 psi | 280 000 psi | 2 010 MPa | 1 950 MPa |
| Elongación a la rotura (Tipo 1, 0,125 ", 0,2" / min) | ASTM D638 | 9% | 3% | 9% | 3% |
| Elongación al Rendimiento (Tipo 1, 0,125 ", 0,2" / min) | ASTM D638 | 2% | 2% | 2% | 2% |
| Resistencia a la flexión (Método 1, 0,05 "/ min) | ASTM D790 | 8 700 psi | 6 900 psi | 60 MPa | 48 MPa |
| Módulo de Flexión (Método 1, 0.05 "/ min) | ASTM D790 | 270 000 psi | 240 000 psi | 1 870 MPa | 1 630 MPa |
| Tensión de Flexión a la Rotura (Método 1, 0.05 "/ min) | ASTM D790 | No rotura | 4% | No rotura | 4% |

Nota: Stratasys (2016)

Tabla 6.

Propiedades térmicas de ASA

| DESCRIPCIÓN | MÉTODO DE PRUEBA | MÉTRICO |
|---|------------------|--------------------|
| Deflexión de calor (HDT) @ 66 psi | ASTM D648 | 98°C |
| Deflexión de calor (HDT) @ 264 psi | ASTM D648 | 91°C |
| Vicat Suavizante Temperatre (tarifa B / 50) | ASTM D1525 | 103°C |
| Temperatura de transición de vidrio (Tg) | DMA (SSYS) | 108°C |
| Coefficiente de Expansión Térmica (caudal) | ASTM E831 | 8,79 E-06 mm/mm/°C |
| Coefficiente de Expansión Térmica (flujo x) | ASTM E831 | 8,28 E-06 mm/mm/°C |

Nota: Stratasys (2016)

Continuando, con el equipo de impresión 3D, tenemos la impresora industrial profesional con tecnología de modelado de fusión por deposición (FDM), es una tecnología de impresión en

termoplásticos, los materiales son de alta resistencia mecánica, como ABS M30, ASA, ABSi. la impresora es la Fortus 900 mc (figura 20).



Figura 20. Impresora 3D Fortus 900 mc. Fuente: <https://trimech.com/products/3d-printers/fdm-technology/fortus-900mc>.

El espacio de impresión es de: Largo 91.44cm x Ancho 60.96cm x Alto 91.44cm los materiales de modelado y sus características son: ABS M30 posee fuerza al impacto y a la flexión con propiedades mecánicas elevadas en un 30%, ASA posee estabilidad UV y una mejor estética. Las propiedades eléctricas de este equipo se describe a continuación en la tabla 7.

Tabla 7.

Propiedades eléctricas

| | MÉTODO DE | RANGO DE VALOR DE |
|-------------|-----------|-------------------|
| DESCRIPCIÓN | PRUEBA | ORIENTACIÓN |

| | | | |
|-------------------------|---------------------|----|--------------------------|
| Resistividad de volumen | ASTM D257 | XZ | 1,0 E14 - 1,0 E15 ohm-cm |
| Constante dieléctrica | ASTM D150-98 | XZ | 2,97 - 3,04 |
| Factor de disipación | ASTM D150-98 | XZ | 0,009 |
| | ASTM D149-09 Método | | |
| Resistencia dieléctrica | A | XZ | 329 V/mil |
| | ASTM D149-09 Método | | |
| Resistencia dieléctrica | A | ZX | 414 V/mil |

Nota: Strataysys (2016)

El material de soporte (figura 21) es un material desprendible en modelos de geometría compleja, sus características de impresión en el espesor de capa son: 0.508mm, 0.330mm, 0.254mm, 0.178mm las piezas se producen con una precisión de ± 0.035 pulgadas o ± 0.015 pulgadas. En esta impresora la precisión depende de la geometría es decir la especificación de exactitud derivada de datos estadísticos con un rendimiento dimensional del 95%.



Figura 21. Material soporte (color blanco, café). Fuente: Strataysys, (2016)

Otro equipo que se utiliza es el software NX, también conocido como Siemens NX o simplemente Unigraphics o U-G, es un paquete de software CAD/CAM/CAE desarrollado por la compañía Siemens PLM Software (una unidad de negocios de la división de Siemens industria de la Automoción), se utiliza este software para el diseño (modelado paramétrico y directo de sólidos/superficies), Análisis para ingeniería (estático, dinámico, electromagnético y térmico usando el método de elementos finitos, y análisis de fluidos usando el método de volúmenes finitos y en la manufactura digital para la industria de maquinaria (figura 22).

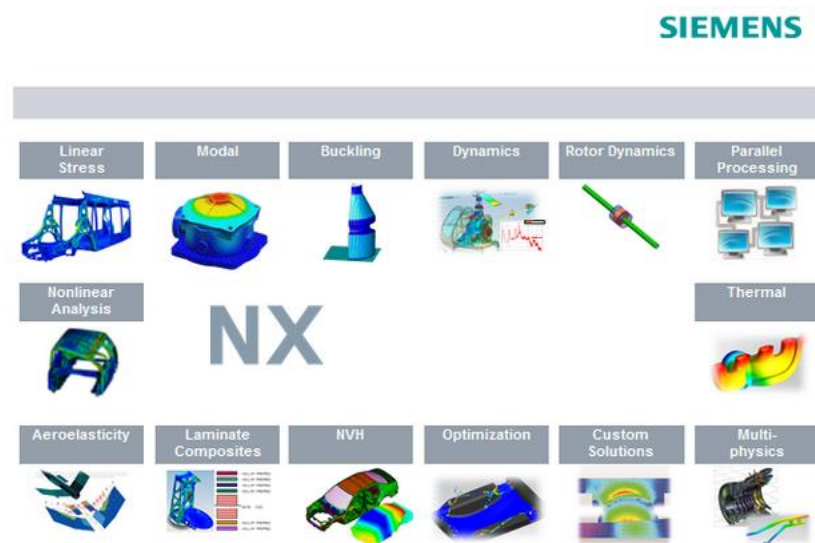


Figura 22. Siemens Nx 11.0. Fuente: <https://www.google.com.ec/search?q=siemens+nx+11.0>

Diseño y tipos de persianas

En esta instancia se presenta dos tipos de persianas existentes en los autobuses del Consorcio Mejía Brito, más tres alternativas de persianas para el autobús tipo AK, los mismos fueron diseñados en base a modelos locales, que fueron sometidos a un profundo proceso de simulación, en donde la persiana que generó la menor turbulencia fue seleccionada como la mejor para el análisis de eficiencia aerodinámica.

Simulación

El diseño computacional por Elementos Finitos (Finite Elements Analisis FEA) representa la mejor herramienta de diseño que se utiliza para diseñar y construir automotores y un sin número de objetos mecánicos.

Es así como, ANSYS ha sido reconocida como una de las empresas más innovadoras del mundo por prestigiosas publicaciones como “Bloomberg Businessweek” y revistas “FORTUNE”.

Esta técnica fue heredada del campo aeroespacial en donde se utilizó inicialmente en 1950 para agilizar diseños y simulaciones, actualmente constituye la herramienta principal utilizada por ingenieros para desarrollar complejos proyectos.

Para la generación de estos diseños se aplicó el método analítico de investigación, y se procedió a plantear las alternativas mostradas en la sección de resultados.

Estos modelos fueron desarrollados en Siemens NX utilizando varias herramientas del mismo y guardando los archivos en formato “STEP” para no tener inconvenientes futuros al querer abrirlos en otro tipo de software.

Parámetros de simulación

Se considerará los siguientes parámetros bajo los cuales el programa va a calcular la efectividad de dicha persiana, estos parámetros son:

- El Coeficiente de Sustentación (CL).
- La Fuerza de Arrastre (FD).
- El Número de Reynolds (Re).
- La Potencia para vencer la resistencia del aire (Pa).

- La Resistencia del aire (R).

Simulación de persianas

En esta sección se hará referencia a la metodología utilizada para la obtención de la eficiencia aerodinámica en las persianas propuestas, para ello:

- Se diseñó tres propuestas en Siemens Nx, utilizando la gran variedad de herramientas que pone a disposición este software.
- Se importó a ANSYS en formato “STEP” en donde se procedió a realizar el análisis CFD.
- Se generó un mallado fino tomando en cuenta el método del “Jacobian Ratio” en donde establece que el punto de convergencia de la malla y el flujo de aire debe tender a 1, esto con el fin de obtener resultados lo más cercanos a la realidad.
- Se establecieron las condiciones iniciales, como: ángulo de ataque, velocidad del autobús a 60 y 90 km/h, respectivamente para cada persiana; tomando en consideración como velocidades promedio en este tipo de autobuses por ser inter-cantonaes y por acatar las velocidades establecidas por la ANT (Agencia Nacional de Tránsito).
- Se procedió a resolver las simulaciones.
- Se encontró la presión y velocidad del flujo de aire para cada uno a 60 y 90 km/h
- Se encontró el área de contacto del cuerpo con el aire.
- Mediante el cálculo del número de Reynolds se encontró que la persiana 3 con apertura de aspas a 90° fue la que generó una menor turbulencia, por lo tanto es la más eficiente.

Para el análisis de todos estos cálculos se tomará en cuenta las propiedades del aire descritas en la tabla 8, así como también los diferentes valores descritos a continuación tomados de la literatura de Cengel, 2003 y del pronóstico del día por el INAMHI:

- Temperatura del aire en la Sierra (T) = 20⁰ [C] o 293.15⁰ [K]
- Presión atmosférica a 2800 m.s.n.m = 1 [atm] o 101 000 [Pa]
- Velocidad máxima del vehículo = 90 $\left[\frac{km}{h}\right]$ o 25 $\left[\frac{m}{s}\right]$
- Velocidad promedio del vehículo (permitida)= 60 $\left[\frac{km}{h}\right]$ o 16.66 $\left[\frac{m}{s}\right]$
- Densidad = 1.2 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ @ 101 000 Pa y 293.15⁰ K

Tabla 8.*Propiedades del aire*

| Temperatura T (⁰ C) | Densidad ρ $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ | Peso Especifico γ $\left(\frac{N}{m^3}\right)$ | Viscosidad dinámica η (Pa's) | Viscosidad cinemática ν $\left(\frac{m^2}{s}\right)$ |
|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|---|
| 0 | 1.292 | 12.67 | 1.72 x 10 ⁻⁵ | 1.33 x 10 ⁻⁵ |
| 10 | 1.247 | 12.23 | 1.77 x 10 ⁻⁵ | 1.42 x 10 ⁻⁵ |
| 20 | 1.204 | 11.81 | 1.81 x 10 ⁻⁵ | 1.51 x 10 ⁻⁵ |
| 30 | 1.164 | 11.42 | 1.86 x 10 ⁻⁵ | 1.60 x 10 ⁻⁵ |
| 40 | 1.127 | 11.05 | 1.91 x 10 ⁻⁵ | 1.69 x 10 ⁻⁵ |

Nota: Mott (2006)

Con estos parámetros, y haciendo uso del método numérico por elementos finitos, se obtuvo el análisis aerodinámico con la propuesta de la nueva persiana en el autobús y su incidencia directa en la eficiencia y posterior análisis para disminuir la temperatura del MCI. De igual manera se determinó el comportamiento del flujo de aire siendo factible la utilización de la velocidad del autobús como referencia para realizar los respectivos cálculos en donde se determinará las variables mencionadas.

Otro parámetro a ser considerado es el material del cual pasará a estar constituida la persiana, para ello se hace referencia al manual *Stratasys* del polímero ASA, en donde se establece que está constituido con un diámetro del filamento de 1.75 [mm].

El equipo que se utilizará es un multímetro digital (figura 23), el mismo que posee la función para medición de temperatura con su respectiva termocupla, la cual realiza mediciones exactas sin exponerte a riesgos. Con éste equipo se podrá conocer la temperatura de superficies peligrosas con mayor precisión, ya que su diseño lo hace más ergonómico y permite un fácil manejo. Así como también ofrece una lectura inmediata en su pantalla de cristal líquido, en la unidad de medición de grados Celsius (centígrados).



Figura 23. Multímetro digital. Fuente: Marca EW FIRST POWER

La sonda de temperatura de medición TP SENIES, cuenta con la de tipo K y con una exactitud de $<400^{\circ}\text{C} \pm 2.5\text{V} \pm 0.75\%t$, las especificaciones técnicas del equipo se puede visualizar en la tabla 9.

Tabla 9.*Especificaciones técnicas del multímetro digital*

| Descripción | Datos |
|---|--|
| Tensión DC | 400 mV / 4 / 40 / 400 / 1000 V ± 1,2 % + 2 dgt. - 100 μV |
| Tensión AC | 400 mV / 4 / 40 / 400 / 750 V ± 0,8 % + 3 dgt. - 100 μV |
| Corriente DC | 400 μA / 4 / 40 / 400 mA / 20 A ± 1,5 % + 3 dgt. - 100 nA |
| Corriente AC | 400 μA / 4 / 40 / 400 mA / 20 A ± 1,8 % + 5 dgt. - 100 nA |
| Resistencia | 400 Ω / 4 / 40 / 400 kΩ / 4 / 40 MΩ ± 1,0 % + 2 dgt. - 100 mΩ |
| Capacidad | 40 / 400 nF / 4 / 40 / 100 μF ± 3,5 % + 5 dgt.- 10 pF |
| Frecuencia | 10/100 Hz/1/10/100 kHz/1/10 MHz ± 1,2 % + 3 dgt. - 1 mHz |
| Temperatura | -20 °C ... 1000° C; ±3 % + 2 dgt. - 0,1 °C |
| Modelo de sonda de temperatura (termocupla) | TP-01 |
| Aplicaciones | Adecuado para medir la temperatura del aire |
| Rango de temperatura | -50~204°C |
| Categoría de sobre-voltaje | CAT III 1000 V / CAT IV 600 V |
| Alimentación | batería de 9 V |
| Dimensiones | 88 x 197 x 41 mm |
| Peso | 390 g |

Nota: Serie EME 5808

Con el fin de realizar pruebas que garanticen la funcionalidad de la persiana en el autobús se propone establecer una hoja de ruta donde se trace un recorrido de aproximadamente 27.4 km, partiendo del Cantón Mejía, desde la ciudad de Machachi hasta la Parroquia de Cutuglahua (figura 24). Se ha considerado este recorrido debido a las ventajas que proporcionan las condiciones topográficas de la zona, ya que se cuenta con una calzada recta, con pendientes y curvas que obligan al MCI a realizar un trabajo con mayor esfuerzo en comparación de si se lo

hace en zonas rectas, se plantea también que la prueba se la realice con la carga de pasajeros para obtener resultados más reales.



Figura 24. Trayectoria de recorrido Machachi – Cutuglagua. Fuente: Google maps

Resultados

Para los cálculos se tomará en cuenta las propiedades del aire descritas en la tabla 7.

Cálculo del área total transversal

Para hacer el cálculo del área transversal se abrió el modelo 3d en formato “STEP” y se usó la barra de herramientas con el ícono en forma de flexómetro, la cual brinda un análisis instantáneo del área seleccionada.

El área a utilizar es la proyección del automotor en una vista frontal como se muestra en la figura 25.

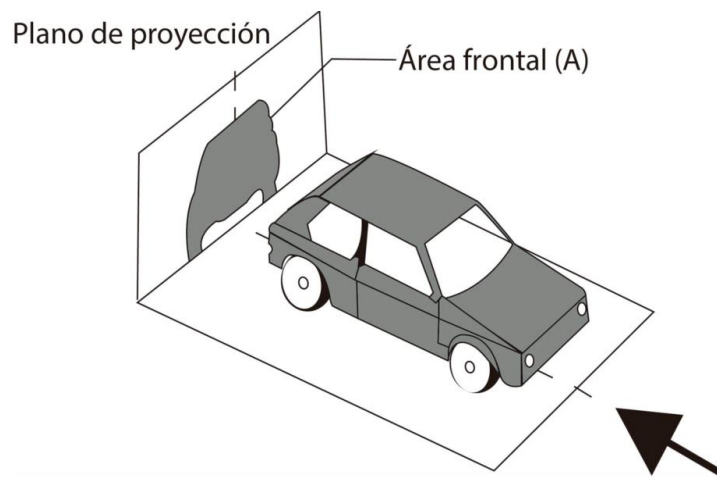


Figura 25. Área proyectada. Recuperado de Mezquita, (2006)

Validación computacional de las persianas

Se procede a simular en ANSYS WORKBENCH 16.0 cada una de las persianas a una velocidad de $60 \left[\frac{km}{h} \right]$ o $16.66 \left[\frac{m}{s} \right]$ y $90 \left[\frac{km}{h} \right]$ o $25 \left[\frac{m}{s} \right]$ respectivamente, para llegar a verificar el comportamiento de velocidad, presión y temperatura del fluido (aire).

Modelo de persianas.

Persiana 1.

En este sentido, se señala la parte frontal de la persiana 1 (Figura 26), obteniendo una área total de 0.28 m² (escala 1:1).

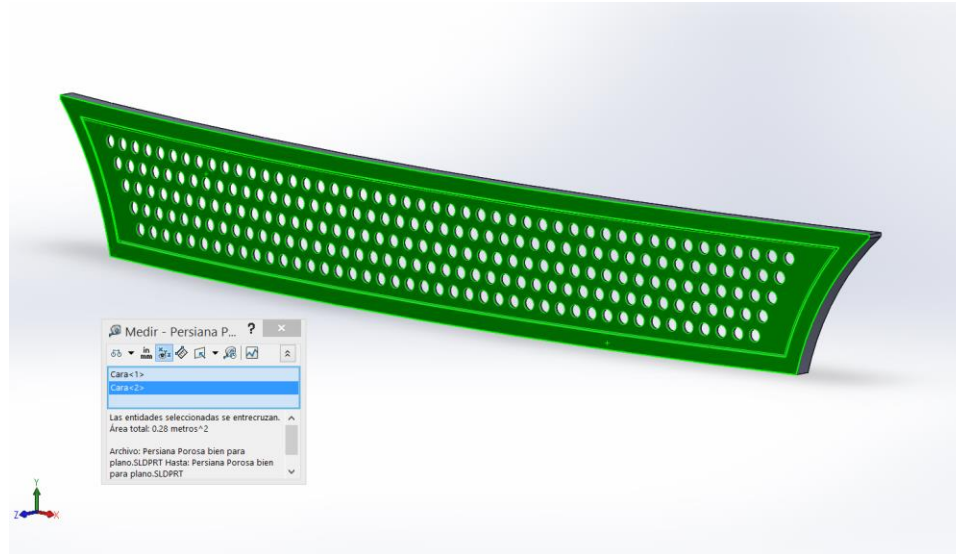


Figura 26. Área proyectada - Persiana 1. Fuente: NX Siemens

Para el pre procesamiento el tipo de elemento que se utilizó fue 3d sólidos tetraedros, en el cual se genera una cantidad de elementos y nodos descritos en la tabla 10 antes de la solución propuesta.

Tabla 10.

Número de elementos y nodos – Persiana 1

| Descripción | Cantidad |
|-------------|-----------|
| Elementos | 1 634 048 |
| Nodos | 312 576 |

Nota: Software CAE

En la figura 27 se puede observar los valores que presenta Ansys como son nodos y elementos.

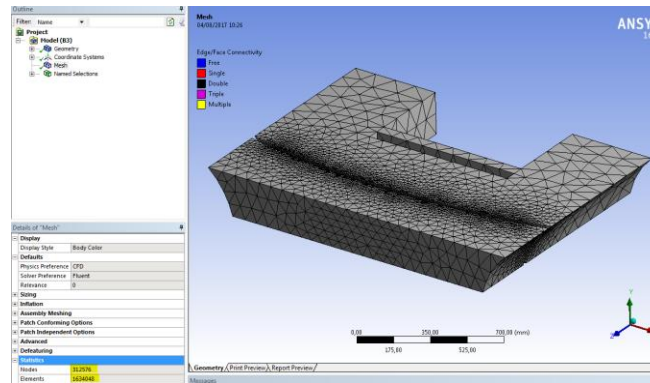


Figura 27. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 1. Fuente: ANSYS

Para la calidad de la malla el factor de *orthogonal quality* se emplea para controlar la malla en ensayos CFD, donde se utilicen fluidos el valor aceptable es superior a 0.15 (Anexo 3), como se presenta en la figura 28.

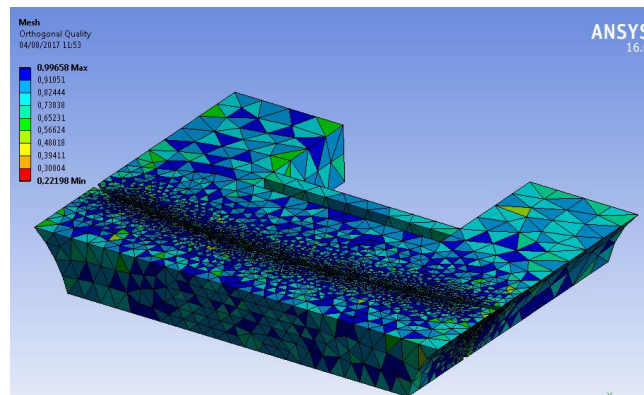


Figura 28. Calidad de malla con valor de *orthogonal quality* mínimo de 0.22198 - Persiana 1.

Fuente: ANSYS

Los valores de convergencia que intervienen en el ensayo se muestran en la figura 29.

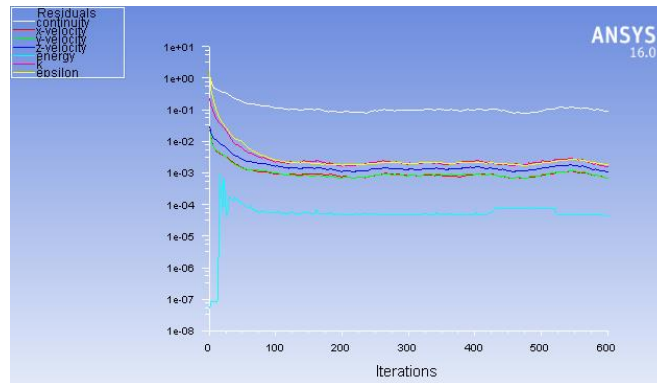


Figura 29. Valores de convergencia - Persiana 1. Fuente: ANSYS

En el post procesamiento se presenta los resultados obtenidos durante los ensayos realizados.

Velocidad.

En rojo se visualiza la velocidad máxima en [m/s], en azul se visualiza la velocidad mínima en [m/s]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 30 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.

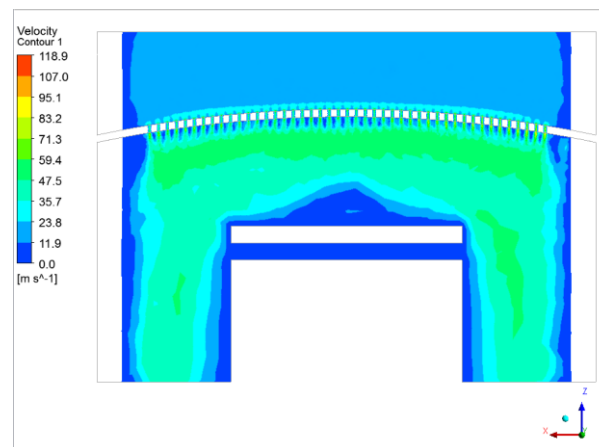


Figura 30. Velocidad de flujo de aire – Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 31 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 90 km/h.

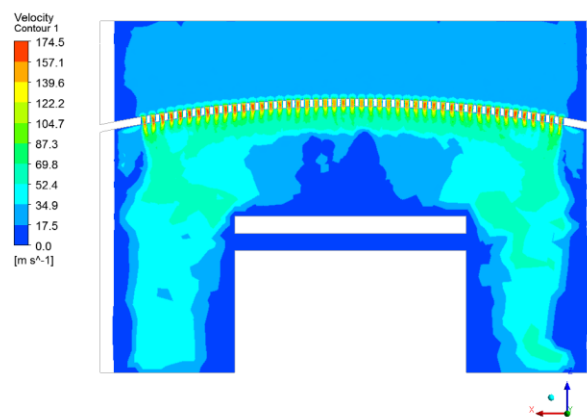


Figura 31. Velocidad de flujo de aire – Persiana 1 a 90km/h. Fuente: ANSYS

Presión.

En rojo se visualiza la presión máxima en [Pa], en azul se visualiza la presión mínima en [Pa]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 32 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 60 km/h.

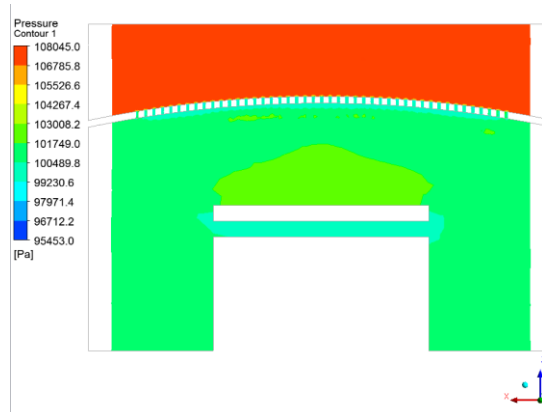


Figura 32. Presión máxima – Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 33 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 90 km/h.



Figura 33. Presión máxima - Persiana 1 a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Temperatura.

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 34 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

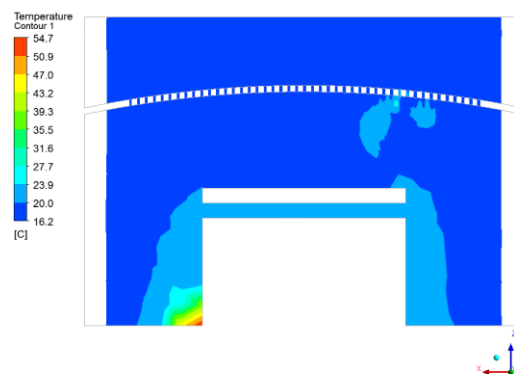


Figura 34. Temperatura - Persiana 1 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 35 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.

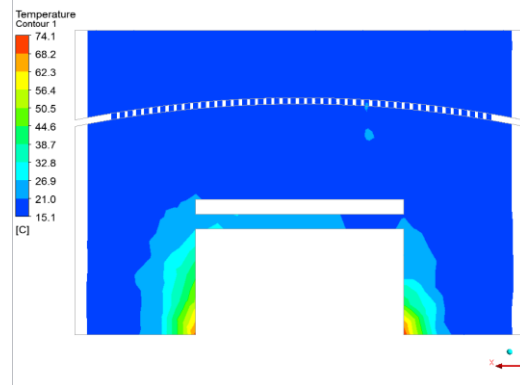


Figura 35. Temperatura - Persiana 1 a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Persiana 2.

Seguidamente se obtiene el área total de la persiana 2 (figura 36), siendo 0.35 m^2

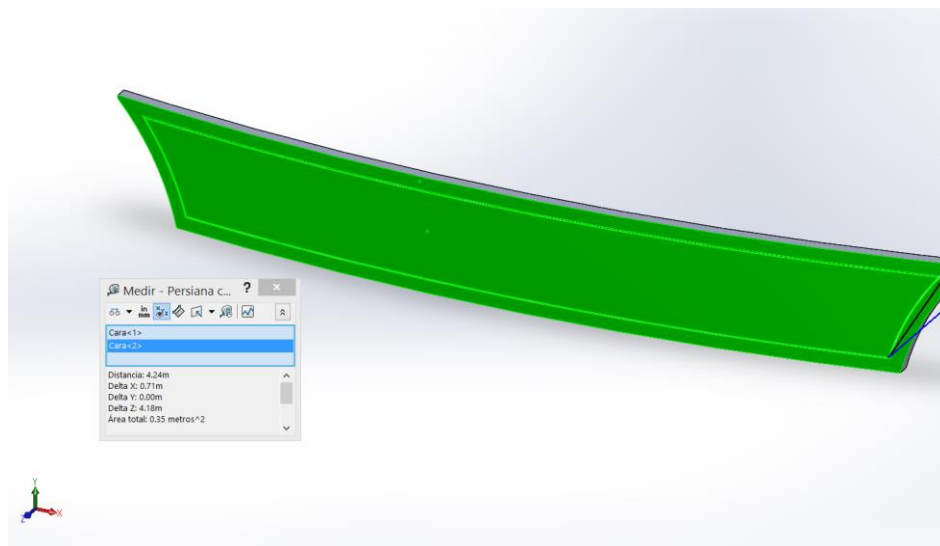


Figura 36. Área proyectada - Persiana 2. Fuente: NX Siemens

Para el pre procesamiento el tipo de elemento que se utilizó fue 3d sólidos tetraedros, en el cual se genera una cantidad de elementos y nodos descritos en la tabla 11 antes de la solución propuesta.

Tabla 11.

Número de elementos y nodos – Persiana 2

| Descripción | Cantidad |
|-------------|-----------|
| Elementos | 1 390 307 |
| Nodos | 263 178 |

Nota: Software CAE

En la figura 37 se puede observar los valores que presenta Ansys como son nodos y elementos.

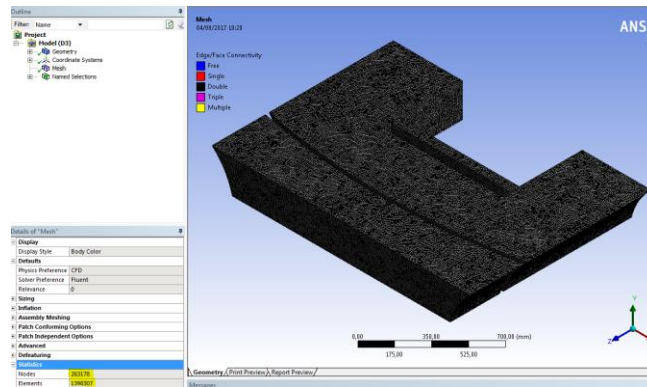


Figura 37. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 2. Recuperado de ANSYS

Para la calidad de la malla el factor de *orthogonal quality* se emplea para controlar la malla en ensayos CFD, donde se utilicen fluidos el valor aceptable es superior a 0.15 (Anexo 3), como se presenta en la figura 38.

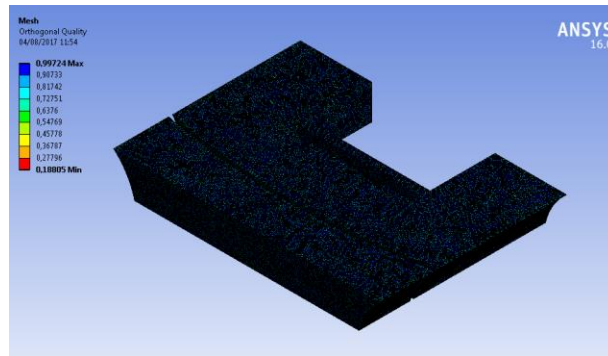


Figura 38. Calidad de malla con valor de *orthogonal quality* mínimo de 0.18805 - Persiana 2. Fuente: ANSYS

Los valores de convergencia que intervienen en el ensayo se muestran en la figura 39.

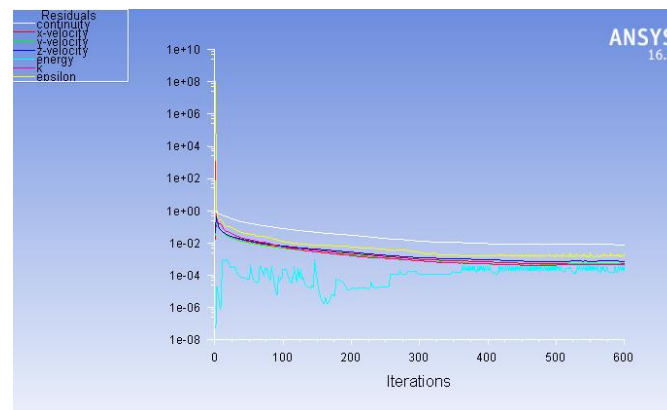


Figura 39. Valores de convergencia - Persiana 2. Recuperado de ANSYS

En el post procesamiento se presenta los resultados obtenidos durante los ensayos realizados.

Velocidad.

En rojo se visualiza la velocidad máxima en [m/s], en azul se visualiza la velocidad mínima en [m/s]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 40 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.

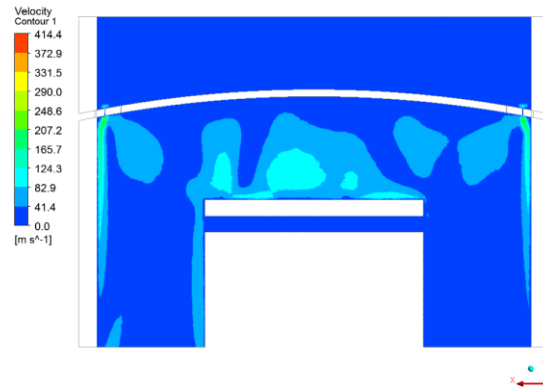


Figura 40. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 41 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 90 km/h.

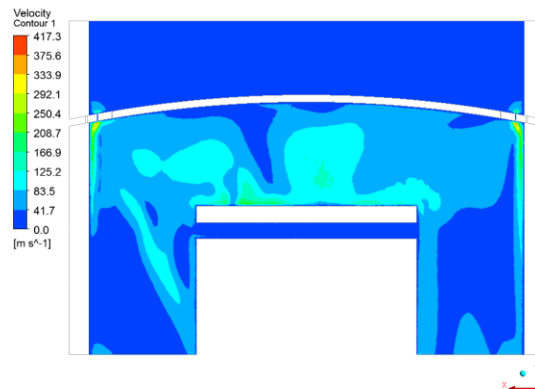


Figura 41. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Presión.

En rojo se visualiza la presión máxima en [Pa], en azul se visualiza la presión mínima en [Pa]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior centrar. En la figura 42 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 60 km/h.



Figura 42. Presión máxima – Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 43 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 90 km/h.

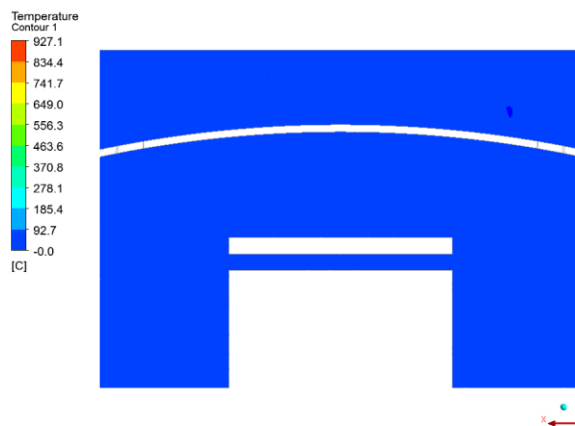


Figura 43. Presión máxima - Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Temperatura.

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 44 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

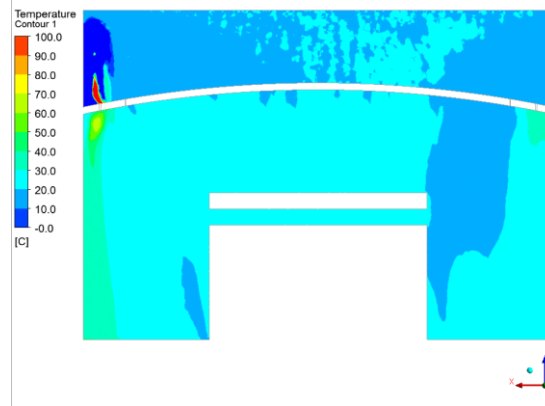


Figura 44. Temperatura - Persiana 2 a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 45 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.

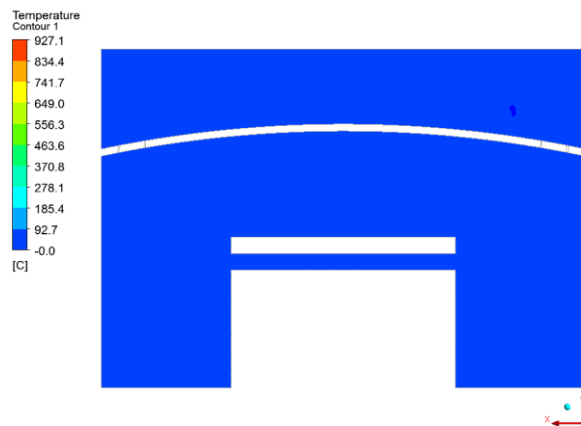


Figura 45. Temperatura - Persiana 2 a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Diseño de persiana 3 con apertura de las aspás a 30°.

Para el cálculo del área total de la persiana 3, se establece en tres etapas, empezando con una apertura de las aspás a 30° (figura 46), obteniendo 0.35 m²

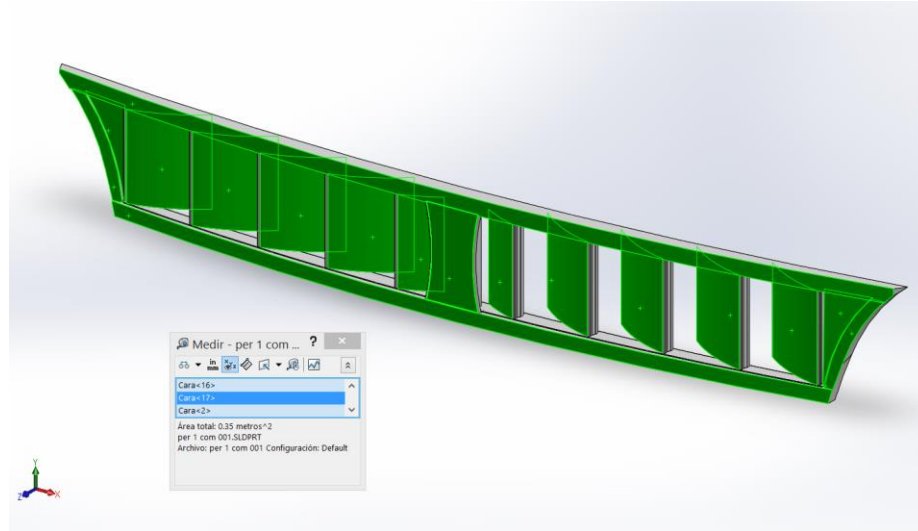


Figura 46. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 30°. Fuente: NX Siemens

Para el pre procesamiento el tipo de elemento que se utilizó fue 3d sólidos tetraedros, en el cual se genera una cantidad de elementos y nodos descritos en la tabla 12 antes de la solución propuesta.

Tabla 12.

Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°

| Descripción | Cantidad |
|-------------|-----------|
| Elementos | 1 380 638 |
| Nodos | 254 744 |

Nota: Software CAE

En la figura 47 se puede observar los valores que presenta Ansys como son nodos y elementos.

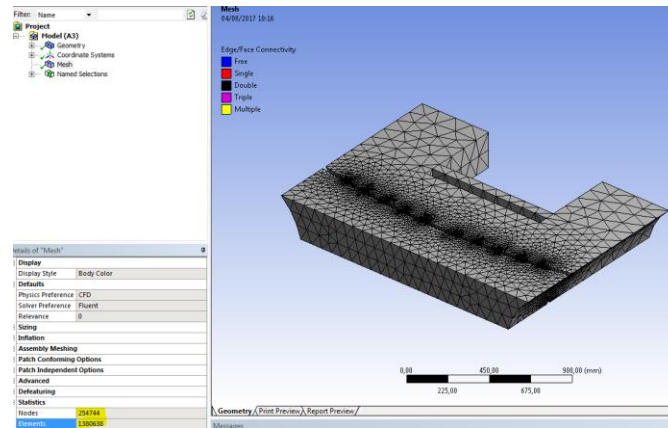


Figura 47. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspás a 30°. Recuperado de ANSYS

Para la calidad de la malla el factor de *orthogonal quality* se emplea para controlar la malla en ensayos CFD, donde se utilicen fluidos el valor aceptable es superior a 0.15 (Anexo 3), como se presenta en la figura 48.

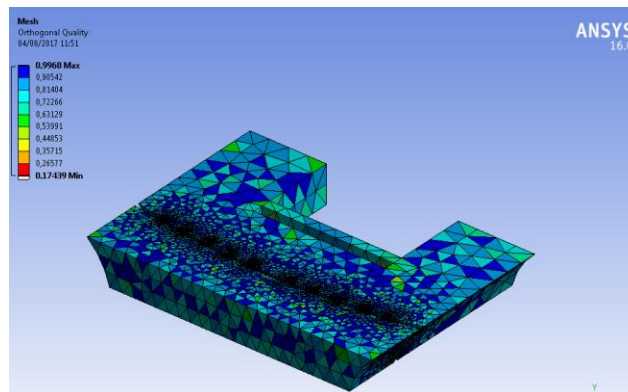


Figura 48. Calidad de malla con valor de *orthogonal quality* mínimo de 0.17439 - Persiana 3 con apertura de las aspás a 30°. Fuente: ANSYS

Los valores de convergencia que intervienen en el ensayo se muestran en la figura 49.

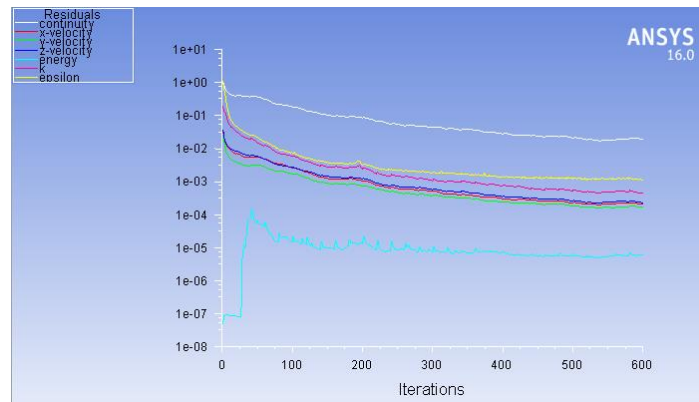


Figura 49. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30°. Recuperado de ANSYS

En el post procesamiento se presenta los resultados obtenidos durante los ensayos realizados.

Velocidad.

En rojo se visualiza la velocidad máxima en [m/s], en azul se visualiza la velocidad mínima en [m/s]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 50 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.

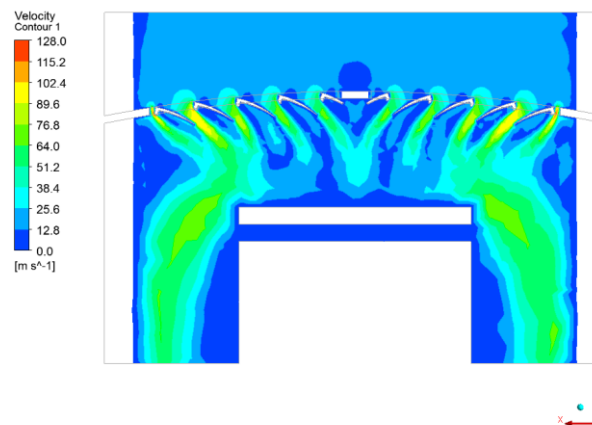


Figura 50. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 51 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 90 km/h.

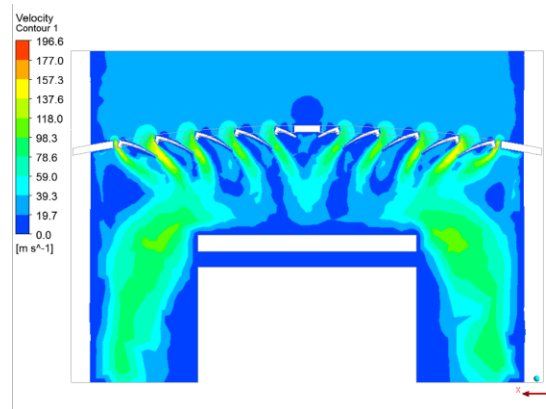


Figura 51. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Presión.

En rojo se visualiza la presión máxima en [Pa], en azul se visualiza la presión mínima en [Pa]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 52 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 60 km/h.

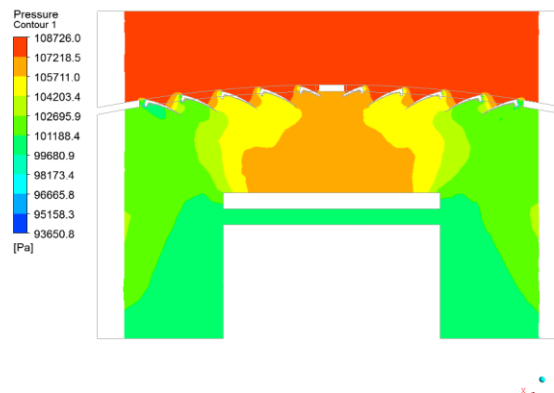


Figura 52. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 53 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 90 km/h.

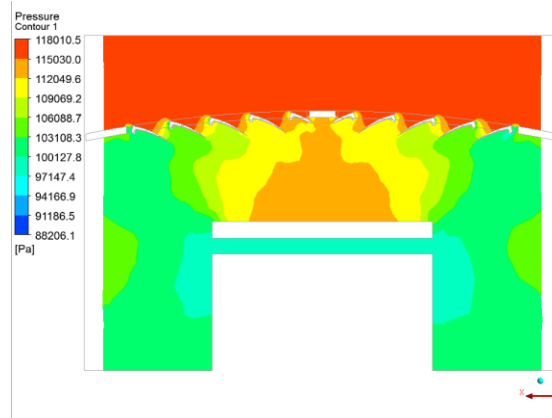


Figura 53. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Temperatura.

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 54 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

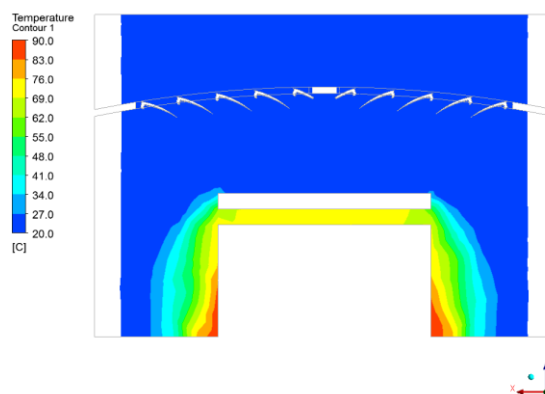


Figura 54. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 55 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.

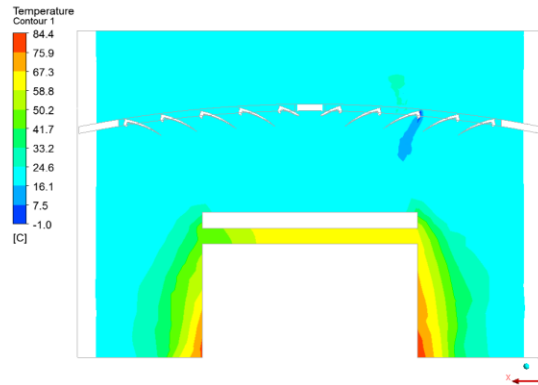


Figura 55. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 60°

Seguidamente se calcula el área de la persiana 3 con una apertura de las aspas a 60° (figura 56), obteniendo 0.35 m²

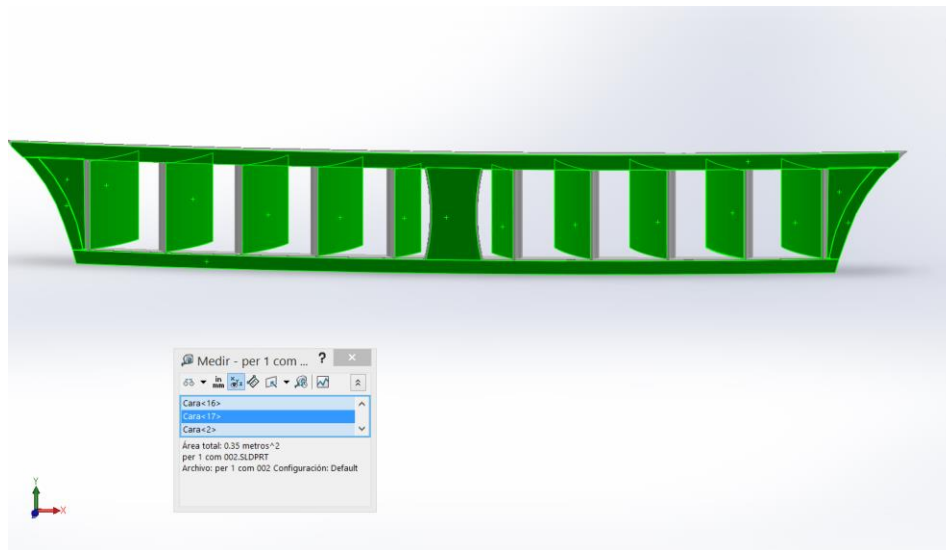


Figura 56. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 60°. Fuente: NX Siemens

Para el pre procesamiento el tipo de elemento que se utilizó fue 3d sólidos tetraedros, en el cual se genera una cantidad de elementos y nodos descritos en la tabla 13 antes de la solución propuesta.

Tabla 13.

Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°

| Descripción | Cantidad |
|-------------|-----------|
| Elementos | 1 381 238 |
| Nodos | 254 725 |

Nota: Software CAE

En la figura 57 se puede observar los valores que presenta Ansys como son nodos y elementos.

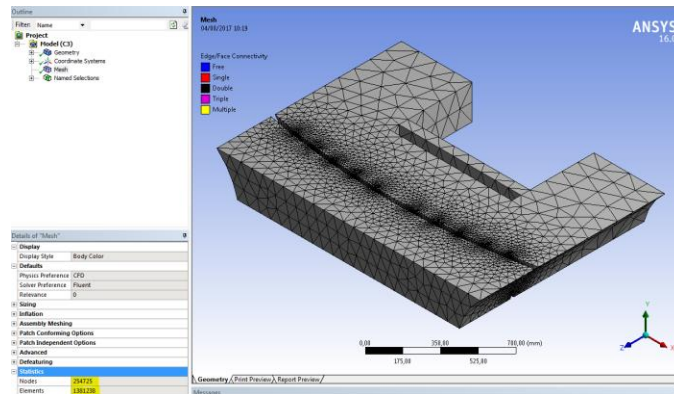


Figura 57. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°.

Recuperado de ANSYS

Para la calidad de la malla el factor de *orthogonal quality* se emplea para controlar la malla en ensayos CFD, donde se utilicen fluidos el valor aceptable es superior a 0.15 (Anexo 3), como se presenta en la figura 58.

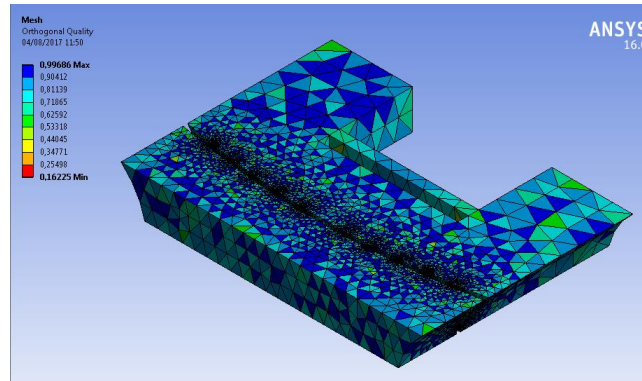


Figura 58. Calidad de malla con valor de *orthogonal quality* mínimo de 0.16225 - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Fuente: ANSYS

Los valores de convergencia que intervienen en el ensayo se muestran en la figura 58.

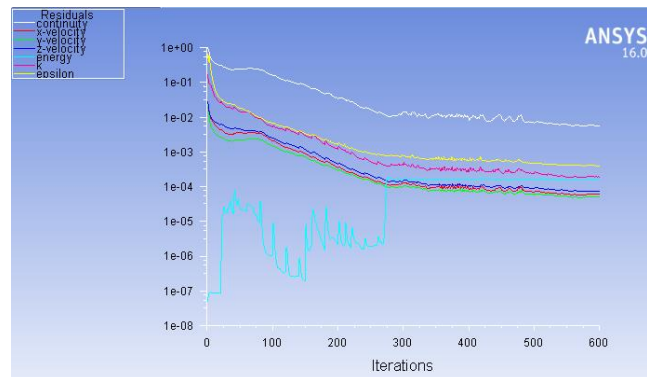


Figura 59. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Recuperado de ANSYS

En el post procesamiento se presenta los resultados obtenidos durante los ensayos realizados.

Velocidad.

En rojo se visualiza la velocidad máxima en [m/s], en azul se visualiza la velocidad mínima en [m/s]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 60 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.

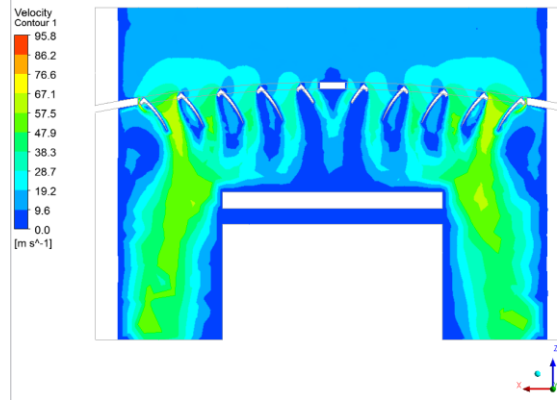


Figura 60. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 61 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 90 km/h.

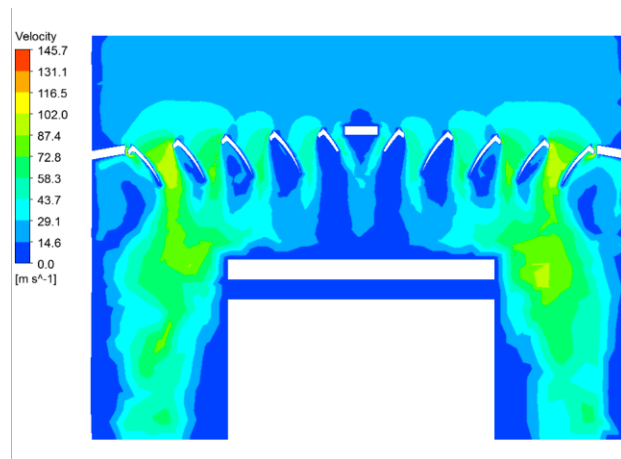


Figura 61. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Presión.

En rojo se visualiza la presión máxima en [Pa], en azul se visualiza la presión mínima en [Pa]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 62 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 60 km/h.

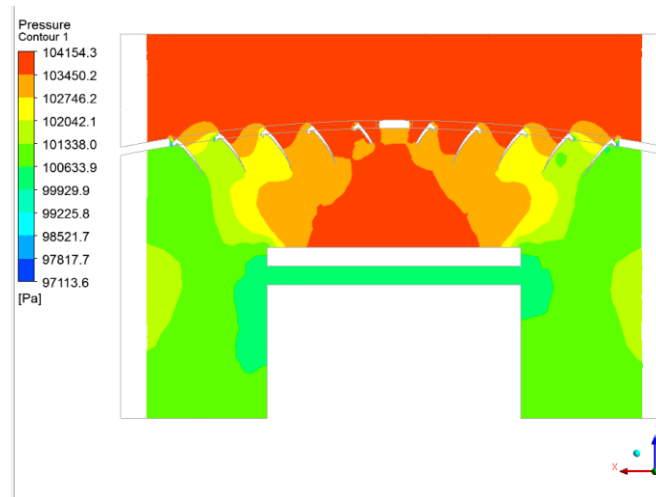


Figura 62. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 63 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 90 km/h.

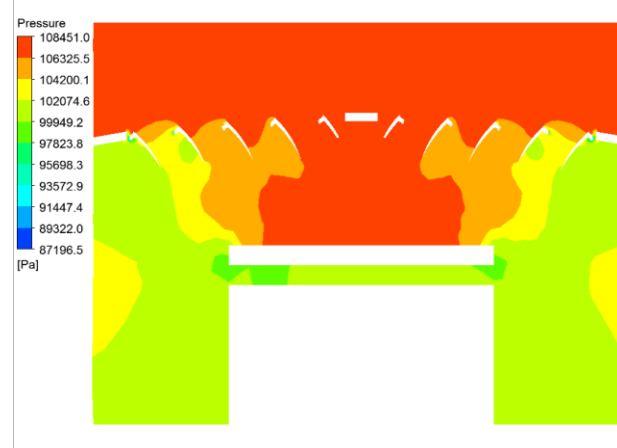


Figura 63. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Temperatura.

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 64 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

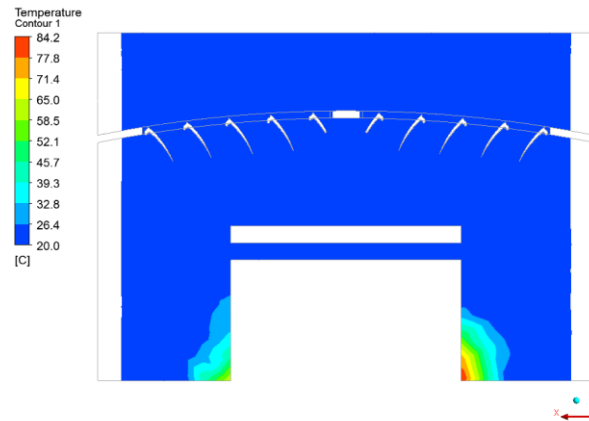


Figura 64. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 65 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.

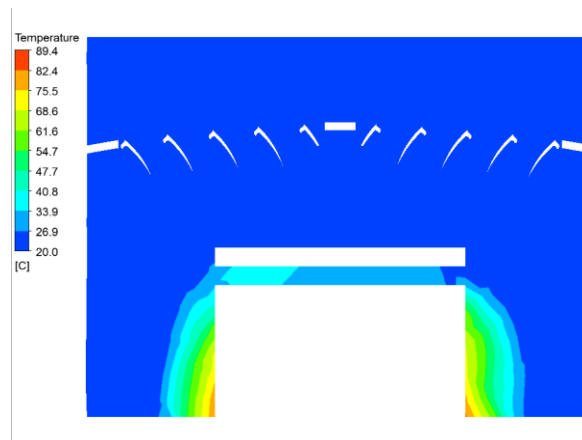


Figura 65. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 90°.

Y finalmente se calcula el área de la persiana 3 con una apertura de las aspas a 90° (figura 66), obteniendo 0.17 m²

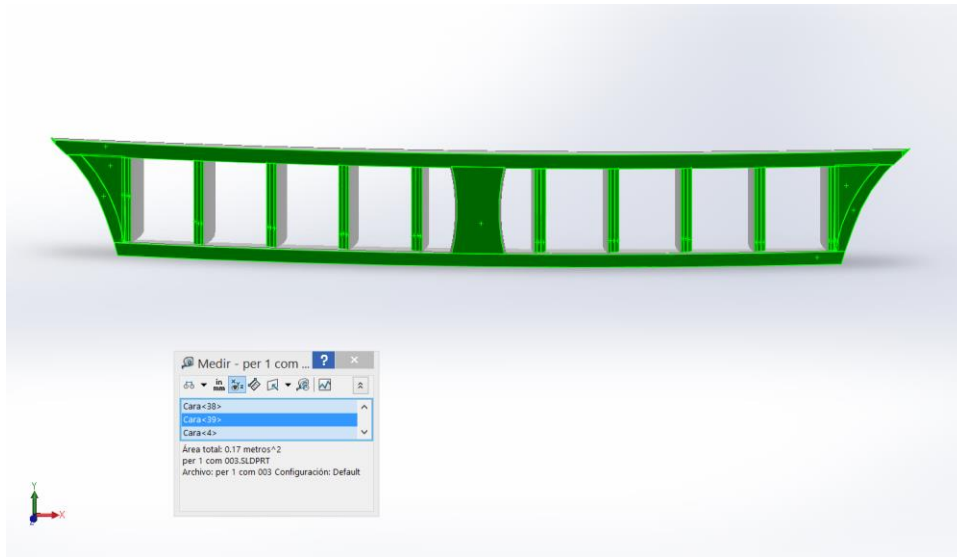


Figura 66. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 90°. Fuente: NX Siemens

Para el pre procesamiento el tipo de elemento que se utilizó fue 3d sólidos tetraedros, en el cual se genera una cantidad de elementos y nodos descritos en la tabla 14 antes de la solución propuesta.

Tabla 14.

Número de elementos y nodos – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°

| Descripción | Cantidad |
|-------------|-----------|
| Elementos | 1 352 778 |
| Nodos | 250 533 |

Nota: Software CAE

En la figura 67 se puede observar los valores que presenta Ansys como son nodos y elementos.

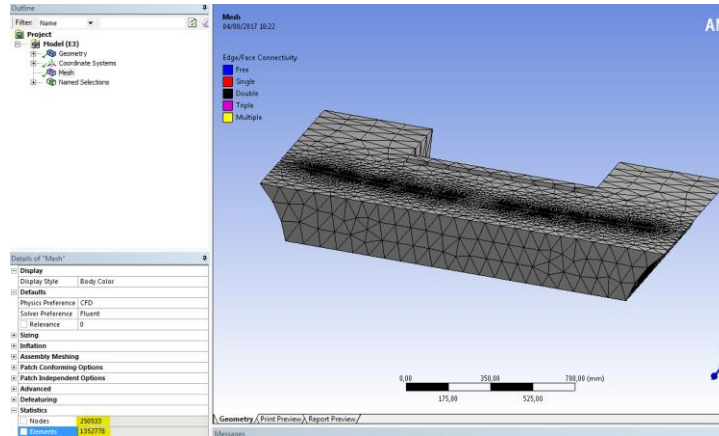


Figura 67. Número de elementos y nodos calculados en Ansys - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°. Recuperado de ANSYS

Para la calidad de la malla el factor de *orthogonal quality* se emplea para controlar la malla en ensayos CFD, donde se utilicen fluidos el valor aceptable es superior a 0.15 (Anexo 3), como se presenta en la figura 68.

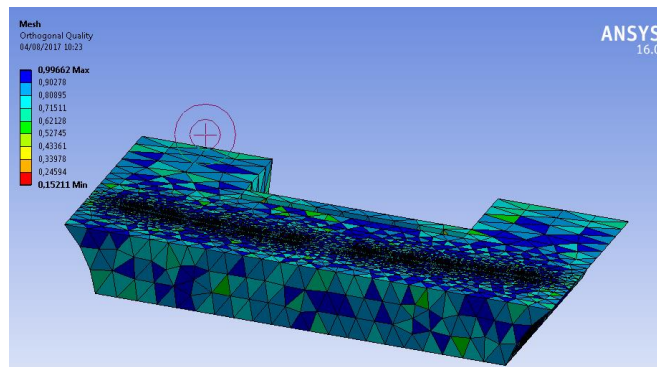


Figura 68. Calidad de malla con valor de *orthogonal quality* mínimo de 0.15211 - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90°. Fuente: ANSYS

Los valores de convergencia que intervienen en el ensayo se muestran en la figura 69.

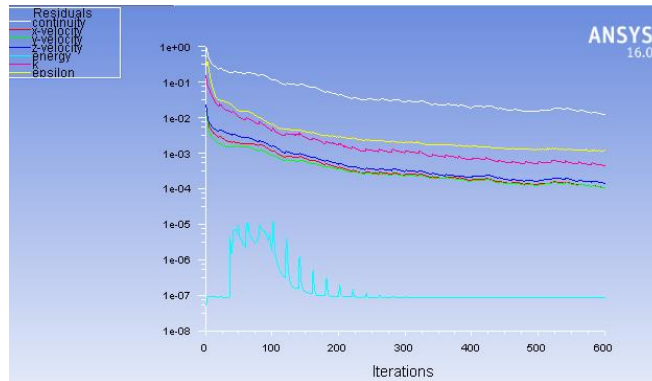


Figura 69. Valores de convergencia - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60°. Recuperado de ANSYS

En el post procesamiento se presenta los resultados obtenidos durante los ensayos realizados.

Velocidad.

En rojo se visualiza la velocidad máxima en [m/s], en azul se visualiza la velocidad mínima en [m/s]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 70 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.

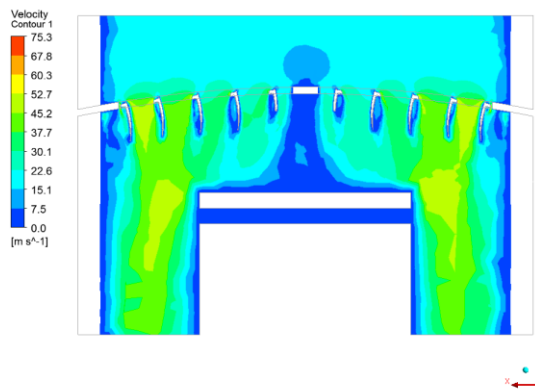


Figura 70. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 71 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 90 km/h.

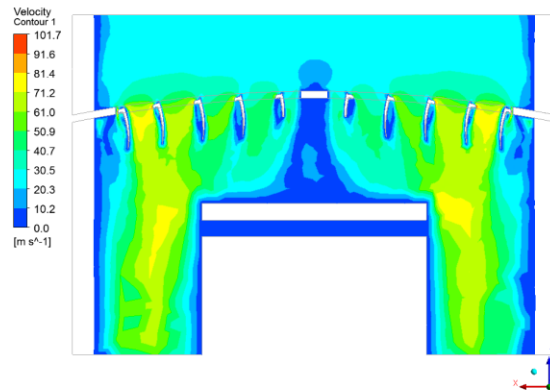


Figura 71. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Presión.

En rojo se visualiza la presión máxima en [Pa], en azul se visualiza la presión mínima en [Pa]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 72 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 60 km/h.

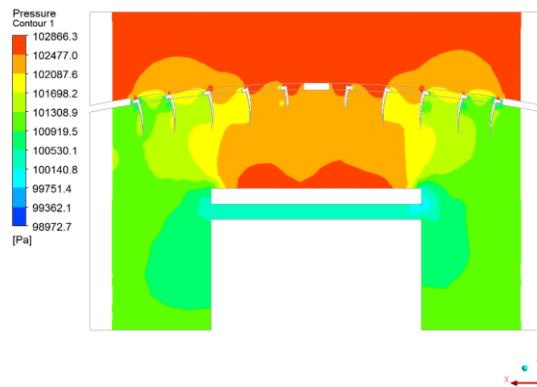


Figura 72. Presión máxima – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 73 se muestra la variación de presiones que se generan en el sistema a 90 km/h.

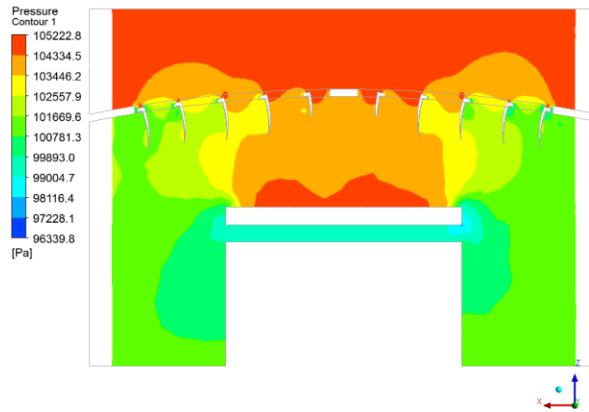


Figura 73. Presión máxima - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Temperatura.

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 74 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

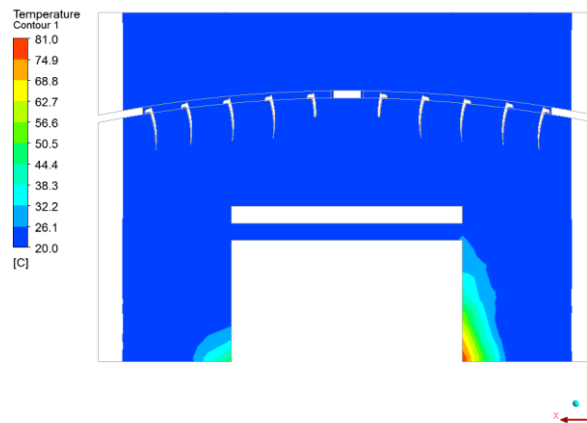


Figura 74. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h. Fuente: ANSYS

En la figura 75 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.

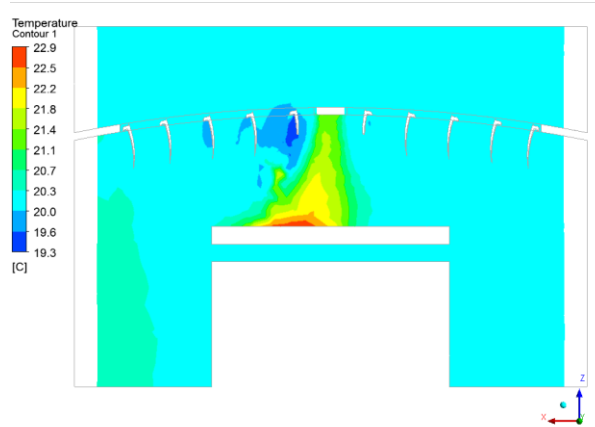


Figura 75. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 90km/h. Recuperado de ANSYS

Resultados computacionales de las persianas

En la tabla 15 se puede evidenciar los resultados obtenidos en la simulación computacional con los diferentes modelos de persianas a 60km/h y 90km/h respectivamente, los cuales son presión máxima, velocidad de flujo de aire y temperatura.

Tabla 15.

Resultados de presión máxima y velocidad de flujo de aire

| Tipos de persianas | Velocidad del autobús | | | Velocidad del autobús | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------|
| | 60 [Km/h] | | | 90 [Km/h] | | |
| | Presión máxima | Velocidad de flujo de aire máxima | Temperatura | Presión máxima | Velocidad de flujo de aire máxima | Temperatura |
| | [Pa] | [m/s] | [°C] | [Pa] | [m/s] | [°C] |
| Persiana 1 | 108 045.0 | 118.9 | 31.6 | 117 373.6 | 174.5 | 38.7 |
| Persiana 2 | 490 107.5 | 414.4 | 40.0 | 968 139.8 | 417.3 | 55.63 |
| Persiana 3 30° | 1 087.260 | 128.0 | 41.0 | 1 180.105 | 196.6 | 33.2 |
| Persiana 3 60° | 1 041.543 | 95.8 | 39.3 | 1 084.510 | 145.7 | 40.8 |
| Persiana 3 90° | 1 028.663 | 75.3 | 26.1 | 1 052.228 | 101.7 | 21.1 |

Nota: Fuente Propia

Cálculos introductorios

Análisis de eficiencia aerodinámica.

Para este análisis se tiene que sincronizar las ecuaciones con el software, siendo la parte más importante del proceso, para ello se escoge los algoritmos matemáticos a ser analizados y se los ingresa en función de los parámetros consultados en la bibliografía.

A continuación se evalúa el número de Reynolds en función de la velocidad del autobús y el área de contacto con el flujo de aire que atraviesa por cada uno de los modelos de persiana, para lo cual utilizamos la ecuación (6):

$$Re = \frac{\rho v A}{\mu}$$

La viscosidad dinámica del aire (μ) se la obtiene directamente en la tabla 7, en la cual se encuentra las propiedades del aire, considerando la temperatura ambiente de 20°C y el área de contacto se la calcula mediante la utilización de las herramientas del software NX de Siemens.

Cálculo de Reynolds a una velocidad promedio de 60 km/h.

De esta manera se obtiene todos los datos para el cálculo de Reynolds en donde su remplazo es el siguiente paso a seguir:

Persiana 1.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 16.66 \frac{m}{s}$$

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PERSIANA PARA AUTOBÚS TIPO AK
105

$$A = 0.28 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(16.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.28 \text{m}^2)}{(1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 0.309 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 2.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = 16.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(16.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.35 \text{m}^2)}{(1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 0.386 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 30°.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 16.66 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(16.66 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s)}$$

$$Re = 0.386 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 60°.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 16.66 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(16.66 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s)}$$

$$Re = 0.386 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 90°

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 16.66 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.17 m^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(16.66 \frac{m}{s}\right) (0.17m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s)}$$

$$Re = 0.187 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

A continuación se verifica el comportamiento del fluido, utilizando la ecuación 7

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (7)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T}$$

$$V_s = \sqrt{1.4 * 287 \frac{J}{kg \cdot K} * 293.15^\circ K}$$

$$V_s = 343.20$$

$$M = \frac{16.66}{343.20} = 0.048 \text{ El fluido es incompresible}$$

Cálculo de Reynolds a una velocidad promedio de 90 km/h.

De esta manera se obtiene todos los datos para el cálculo de Reynolds en donde su remplazo es el siguiente paso a seguir:

Persiana 1.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.28 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(25 \frac{m}{s}\right) (0.28 m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s)}$$

$$Re = 0.464 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 2.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(25 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s)}$$

$$Re = 0.580 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 30°.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.35 m^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(25 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s)}$$

$$Re = 0.580 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 60°.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(25 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 0.580 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

Persiana 3 con apertura de aspas a 90°.

Datos:

$$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$A = 0.17 \text{ m}^2$$

$$\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Reemplazando,

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) \left(25 \frac{m}{s}\right) (0.17m^2)}{(1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 0.281 \times 10^6 \text{ (Adimensional)}$$

A continuación se verifica el comportamiento del fluido, utilizando la ecuación 7

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (7)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T}$$

$$V_s = \sqrt{1.4 * 287 \frac{J}{kg^{\circ}K} * 293.15^{\circ}K}$$

$$V_s = 343.20$$

$$M = \frac{25}{343.20} = 0.072 \text{ El fluido es incompresible}$$

Una vez encontrado el número de Reynolds para cada una de las persianas, se tabuló (Ver tabla 25) y se encontró el más eficiente.

Parámetros aerodinámicos.

Persiana 1.

Cálculo de la fuerza de sustentación.

Se utiliza la ecuación (8) y mediante la literatura de Patten, McAuliffe, Mayda, & Tanguay (2012) se obtiene el coeficiente de sustentación para autobuses con el valor de 0.35

$$F_L = \frac{(C_L)(\rho)(V^2)(A)}{2}$$

$$F_L = \frac{(0.35) \left(1.2 \frac{kg}{m^3}\right) (25 \frac{m}{s})^2 (0.28m^2)}{2}$$

$$F_L = 36.75 [N]$$

Cálculo del coeficiente de arrastre.

Con la presión máxima obtenida en la simulación se calcula la resistencia aerodinámica total ó fuerza de arrastre generada por el autobús y con la ecuación (10), se despeja el coeficiente de arrastre (C_D) reemplazando valores obtenidos.

$$P_{persiana\ 1} = \frac{F_D}{A_{persiana\ 1}}$$

Donde:

$$F_D = P_{persiana\ 1} * A_{persiana\ 1}$$

$$F_D = (11\ 737.36 \frac{N}{m^2})(0.28\ m^2)$$

$$F_D = 3\ 286.4608\ [N]$$

$$F_D = \frac{(C_D)(\rho)(V^2)(A)}{2}$$

Despejando C_D :

$$C_D = \frac{(2)(F_D)}{(\rho)(V^2)(A)}$$

Reemplazando:

$$C_D = \frac{(2)(3\ 286.4608\ N)}{(1.2 \frac{kg}{m^3})(25 \frac{m}{s})^2 (0.28m^2)}$$

$$C_D = 31.29$$

Potencia absorbida.

Para el siguiente cálculo se hace referencia a la ecuación (13) y al coeficiente de penetración ($C_x =$ como mínimo 0.7) obtenido de la NORMALIZACIÓN (2009).

$$Pa = \frac{1}{2} C_x \rho A V^3$$

Reemplazando valores:

$$Pa = \frac{1}{2} (0.7) \left(1.2 \frac{kg}{m^3} \right) (0.28 m^2) \left(25 \frac{m}{s} \right)^3$$

Donde:

$$Pa = 1\ 837.5 [W]$$

Resistencia del Aire.

De igual forma para este cálculo se hace referencia a la ecuación (14) y al coeficiente de penetración ($C_x =$ como mínimo 0.7) obtenido de la NORMALIZACIÓN (2009).

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho A_f V^2$$

Reemplazando valores:

$$R = \frac{1}{2} (0.7) \left(1.2 \frac{kg}{m^3} \right) (0.28 m^2) \left(25 \frac{m}{s} \right)^2$$

Donde:

$$R = 73.5 [N]$$

Eficiencia Aerodinámica.

Este parámetro a ser calculado corresponde a la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de arrastre McBeath (2000). Se calcula con referencia a la ecuación (12):

$$Eficiencia\ Aerodinámica = \frac{C_L}{C_D}$$

Remplazando valores:

$$Eficiencia\ Aerodinámica = \frac{0.35}{31.29}$$

Donde:

$$Eficiencia\ Aerodinámica = 0.011$$

En la tabla 16 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 1 a 90 km/h.

Tabla 16.

Resultados - Persiana 1 a 90 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|----------------|---------------|------------------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 36.75 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 3 286.46 |
| Coeficiente arrastre | C_D | [--] | 31.30 |
| Coeficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 1 837.50 |

| | | | |
|-------------------------|----|------|----------|
| Resistencia del aire | R | [N] | 73.50 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 4.64E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.07 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.011 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 1 a 60 km/h.

Tabla 17.

Resultados - Persiana 1 a 60 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|----------------|---------------|------------------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 16.32 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 30 252.60 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 648.79 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 543.79 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 32.64 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 3.09E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.001 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 18 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 2 a 60 km/h.

Tabla 18.

Resultados - Persiana 2 a 60 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|---------|--------|------------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 20.40 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 171 537.63 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 2 943.00 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | P_a | [W] | 679.74 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 40.80 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 3.87E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.000 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 19 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 2 a 90 km/h.

Tabla 19.

Resultados - Persiana 2 a 90 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|------------------------|---------|--------|-----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 45.94 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 3 388.49 |

| | | | |
|--|-------|------|----------|
| Coeficiente arrastre | C_D | [--] | 25.82 |
| Coeficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | P_a | [W] | 2 296.88 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 91.88 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 5.80E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.07 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.014 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 20 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 30° a 60 km/h.

Tabla 20.

Resultados - Persiana 3 con aspas 30° a 60 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|---------|--------|-----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 20.40 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 380.54 |
| Coeficiente arrastre | C_D | [--] | 6.53 |
| Coeficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | P_a | [W] | 679.74 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 40.80 |

| | | | |
|-------------------------|----|------|----------|
| Número de Reynolds | Re | [--] | 3.87E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.054 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 21 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 30° a 90 km/h.

Tabla 21.

Resultados - Persiana 3 con aspas 30° a 90 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|---------|--------|-----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 45.94 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 413.04 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 3.15 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 2 296.88 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 91.88 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 5.80E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.07 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.111 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 22 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 60° a 60 km/h.

Tabla 22.

Resultados - Persiana 3 con aspas 60° a 60 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|---------|--------|-----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 20.40 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 364.54 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 6.25 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 679.74 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 40.80 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 3.87E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.056 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 23 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 60° a 90 km/h.

Tabla 23.

Resultados - Persiana 3 con aspas 60° a 90 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|----------|---------|--------|-----------|
|----------|---------|--------|-----------|

| | | | |
|--|-------|------|----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 45.94 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 379.58 |
| Coeficiente arrastre | C_D | [--] | 2.89 |
| Coeficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 2 296.88 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 91.88 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 5.80E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.07 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.121 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 24 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 90° a 60 km/h.

Tabla 24.

Resultados - Persiana 3 con aspas 90° a 60 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|-----------------------------|---------|--------|-----------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 9.91 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 174.87 |
| Coeficiente arrastre | C_D | [--] | 6.18 |
| Coeficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |

| | | | |
|--|----|------|----------|
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 330.16 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 19.82 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 1.88E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.057 |

Nota: Fuente Propia

En la tabla 25 se muestra los resultados obtenidos con respecto a la persiana 3 con apertura de aspas 90° a 90 km/h.

Tabla 25.

Resultados - Persiana 3 con aspas 90° a 90 km/h

| Variable | Símbolo | Unidad | Resultado |
|--|----------------|---------------|------------------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 22.31 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 178.88 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 2.81 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 1 115.63 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 44.63 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 2.82E+05 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.07 |

Eficiencia Aerodinámica H [--] 0.125

Nota: Fuente Propia

Análisis de las persianas según Reynolds

Una vez encontrado el número de Reynolds para cada uno de los modelos de persiana, se verifica en la tabla 26 los resultados de eficiencia aerodinámica.

Tabla 26.

Resultados del número de Reynolds de cada modelo de persiana

| Análisis de turbulencia para cada uno de los prototipos | | |
|---|---|---|
| Detalle | Número de Reynolds a 16.66 [m/s] o 60 [km/h] (Adimensional) | Número de Reynolds a 25 [m/s] o 90 [km/h] (Adimensional) |
| Persiana 1 | 0.309×10^6 | 0.464×10^6 |
| Persiana 2 | 0.386×10^6 | 0.580×10^6 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 30° | 0.386×10^6 | 0.580×10^6 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 60° | 0.386×10^6 | 0.580×10^6 |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 90° | 0.187×10^6 | 0.281×10^6 |

Nota: Fuente Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, se define que si el número de Reynolds es menor a 2 000, el flujo es laminar y si el número de Reynolds es mayor a 4 000, el flujo es turbulento; en

este sentido se puede decir que el diseño de persiana más eficiente e incluso que llega a poseer flujo laminar es la persiana 3 con apertura de aspas a 90°.

Condiciones aerodinámicas con mejores prestaciones en la persiana 3 con apertura de aspas a 90°

A continuación se ilustra en la tabla 27 todos los resultados de análisis aerodinámico que se realizó en el autobús con la persiana 3 con apertura de aspas a 90°.

Tabla 27.

Resultados obtenidos con el diseño de persiana más eficiente.

| Variable | Símbolo | Unidad | Valor a 60 km/h | Valor a 90 km/h |
|--|---------|---------------|---------------------|---------------------|
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 9.91 | 22.31 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 174.87 | 178.88 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 6.18 | 2.81 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | P_a | [W] | 330.16 | 1 115.63 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 19.82 | 44.63 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 0.187×10^6 | 0.281×10^6 |
| Número de Mach | M | [--] | 0.05 | 0.07 |
| Eficiencia Aerodinámica | H | [--] | 0.057 | 0.125 |
| Presión máxima | P | Pa | 1 028.663 | 1 052.228 |
| Velocidad de flujo de aire máxima | V | $\frac{m}{s}$ | 75.3 | 101.7 |

Temperatura T °C 26.1 21.1

Nota: Fuente Propia

Comparación de valores entre persiana 1, persiana 2 y persiana 3 con apertura de aspas a 90°

En la tabla 28 se muestra todos los valores calculados y obtenidos en la simulación entre cada persiana

Tabla 28.

Comparación de los datos obtenidos entre persianas

| Variable | Símbolo | Unidad | Persiana 3 con | | |
|--|---------|--------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| | | | Persiana 1 | Persiana 2 | apertura de aspas a 90° |
| Fuerza de arrastre | F_L | [N] | 36.75 | 45.94 | 22.31 |
| Fuerza de sustentación | F_D | [N] | 3 286.4608 | 3 388.49 | 178.88 |
| Coefficiente arrastre | C_D | [--] | 31.29 | 25.82 | 2.80 |
| Coefficiente de sustentación | C_L | [--] | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Potencia para vencer la resistencia del aire | Pa | [W] | 1 837.5 | 2 296.875 | 1 115.63 |
| Resistencia del aire | R | [N] | 73.5 | 91.88 | 44.63 |
| Número de Reynolds | Re | [--] | 0.464×10^6 | 0.580×10^6 | 0.281×10^6 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Eficiencia aerodinámica | H | [--] | 0.011 | 0.013 | 0.125 |
| Presión máxima | P | Pa | 117 373.6 | 968 139.8 | 1 052.228 |
| Velocidad de flujo de aire máxima | V | $\frac{m}{s}$ | 174.5 | 417.3 | 101.7 |
| Temperatura | T | °C | 38.7 | 55.63 | 21.1 |

Nota: Fuente Propia

Discusión

Fuerza de arrastre.

Como se puede observar en la tabla 27, la fuerza de arrastre disminuye con la instalación de la persiana 3 con apertura de 90°, debido a que es inversamente proporcional al área transversal, permitiendo que el coeficiente de arrastre disminuya, por lo que éste diseño de persiana permite reducir el arrastre y por este motivo la energía necesaria para vencer el mismo.

Fuerza de sustentación.

Así como también se visualiza en la tabla 27 el decrecimiento de la fuerza de sustentación, esto es de gran importancia porque permite conocer con éste tipo de diseño una turbulencia reducida.

Potencia para vencer la resistencia del aire.

Se debe considerar que al reducir la resistencia del aire, considerablemente la potencia para vencer el mismo reducirá, permitiendo que el MCI del autobús realice menos esfuerzo incrementando el tiempo de vida útil, en este sentido a la vez existirá mayor aprovechamiento de

aire hacia el MCI garantizando de esta manera eficiencia aerodinámica con el diseño de la persiana a 90°

Resistencia del aire.

En la tabla 27 se observa que la resistencia del aire disminuye notablemente por efecto de las aletas de la persiana, permitiendo que el flujo de aire circule con dirección al habitáculo del MCI y de esta manera disminuya la temperatura del mismo.

Número de Reynolds.

Con respecto al análisis del Número de Reynolds en los tres modelos de persianas, se puede evidenciar que se supera el valor de 4 000, por lo tanto al fluido se lo considera turbulento.

Eficiencia aerodinámica.

La obtención de éste valor es primordial, ya que de acuerdo a los diferentes cálculos realizados se puede observar en la tabla 27 el incremento de los valores, permitiendo evidenciar una mejor eficiencia aerodinámica en el diseño de persiana propuesto.

Temperatura.

La temperatura que se visualiza en la tabla 27 es de igual manera importante, ya que si al existir una mejor eficiencia aerodinámica, existirá mayor ingreso de fluido de aire al MCI del autobús y por consecuencia enfriamiento al MCI.

Impresión 3D de la persiana.

Para la fase de impresión se clasifica las diferentes partes del modelo CAD en el programa que posee enlace directo con la impresora 3D como se muestra en la figura 76.

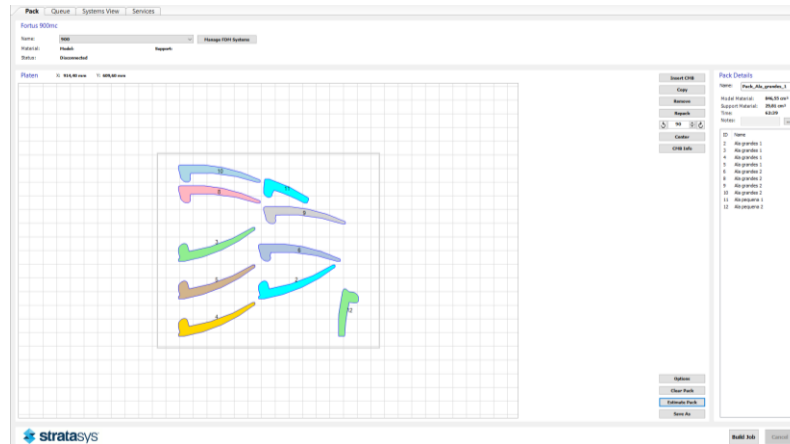


Figura 76. Clasificación de partes - Impresión 3D persiana. Recuperado de Stratasys, (2016)

Seguidamente la impresión 3D de la persiana se llevó a cabo en 150 horas y posteriormente se realizó el respectivo ensamble como se ilustra en la figura 77.



Figura 77. Persiana fabricada. Fuente: Propia

Finalmente se procede a dar los acabados finales a la persiana como se observa en la figura 78.



Figura 78. Acabado final de la persiana. Fuente: Propia

Pruebas y tabulación de resultados.

A partir de los parámetros calculados, se comparará los resultados teóricos con los prácticos.

Temperaturas otorgadas por la simulación computacional.

A continuación en la tabla 29 se visualiza las temperaturas que arroja el software CAE al terminar la simulación independientemente.

Tabla 29.

Temperaturas otorgadas por el software CAE

| Velocidad | |
|--------------------|------------------|
| | 90 [Km/h] |
| del | |
| autobús | |
| Temperatura | |
| Modelo | Virtual |
| | [°C] |
| Persiana 1 | 38.7 |
| Persiana 3 a 90° | 21.1 |

Nota: Fuente Propia

Como primera instancia las pruebas de ruta se las realizó en el trayecto Machachi – Cutuglahua (figura 79), el día domingo 30 de julio de 2017 en horas de la mañana, en vista de que existía 30% de humedad relativa. Este dato de humedad se obtuvo mediante datos del pronóstico del día, proporcionado por el Ing. Pablo Llerena, Servidor Público del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En el trayecto mencionado se realizó 10 mediciones de temperatura como se muestra en la tabla 30.



Figura 79. Prueba de ruta - Trayecto Machachi Cutuglahua. Fuente: Propia

Tabla 30.

Medición de temperaturas en el trayecto Machachi - Cutuglahua

| N° | Medición de temperatura con persiana 1 (°C) | Medición de temperatura con Persiana 3 con apertura de aspas a 90° (°C) |
|----|---|---|
| 1 | 039 | 024 |
| 2 | 042 | 023 |
| 3 | 041 | 022 |
| 4 | 042 | 022 |
| 5 | 041 | 023 |
| 6 | 042 | 022 |

| | | |
|----|-----|-----|
| 7 | 043 | 021 |
| 8 | 038 | 025 |
| 9 | 040 | 024 |
| 10 | 039 | 022 |

Nota: Fuente Propia

Temperatura MCI del autobús con persiana 1

De acuerdo a las mediciones realizadas con el termómetro infrarojo en el trayecto Machachi Tambillo se toma como punto de referencia el valor central obtenido, es decir 41 °C (figura 80).



Figura 80. Temperatura real - Persiana 1. Fuente: Propia

Temperatura MCI del autobús con persiana 3 con apertura de aspas a 90°

Se realiza la prueba de ruta con la persiana fabricada e instalada en el autobús como se visualiza en la figura 81.



Figura 81. Persiana 3 con apertura de aspas a 90° instalada en el autobús. Fuente: Propia

De igual manera se toma como punto de referencia el valor central obtenido, es decir 23 °C (figura 82).



Figura 82. Temperatura real - Persiana 3 con apertura de aspas a 90°. Fuente: Propia

Relacionando las temperaturas virtuales – prácticas, se puede observar en la tabla 31 que en éstas condiciones existe diferencia mínima; por lo que se encuentra dentro de los parámetros el valor de temperatura obtenido en el MCI del autobús.

Tabla 31.

Análisis de resultados

| Detalle | Temperatura virtual (°C) | Temperatura real (°C) | Observaciones |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| Persiana 1 | 38.7 | 41 | Aumenta 5.94 %, lo cual es aceptable dentro de los parámetros. |
| Persiana 3 con apertura de aspas a 90° | 21.1 | 23 | Aumenta 9 %, lo cual es aceptable dentro de los parámetros. |

Nota: Fuente Propia

Para poder evidenciar de una manera más clara los valores obtenidos en las simulaciones virtuales realizadas a las velocidades de 60 km/h y 90 km/h respectivamente, precisamente se ilustra en la figura 83 con cada tipo de persiana de autobús y en comparación de los resultados se visualiza notablemente que la persiana 3 con apertura de aspas a 90° es la más eficiente, por poseer características con mayor aprovechamiento de aire (en condiciones dinámicas) y a la vez disminuir la temperatura del MCI.

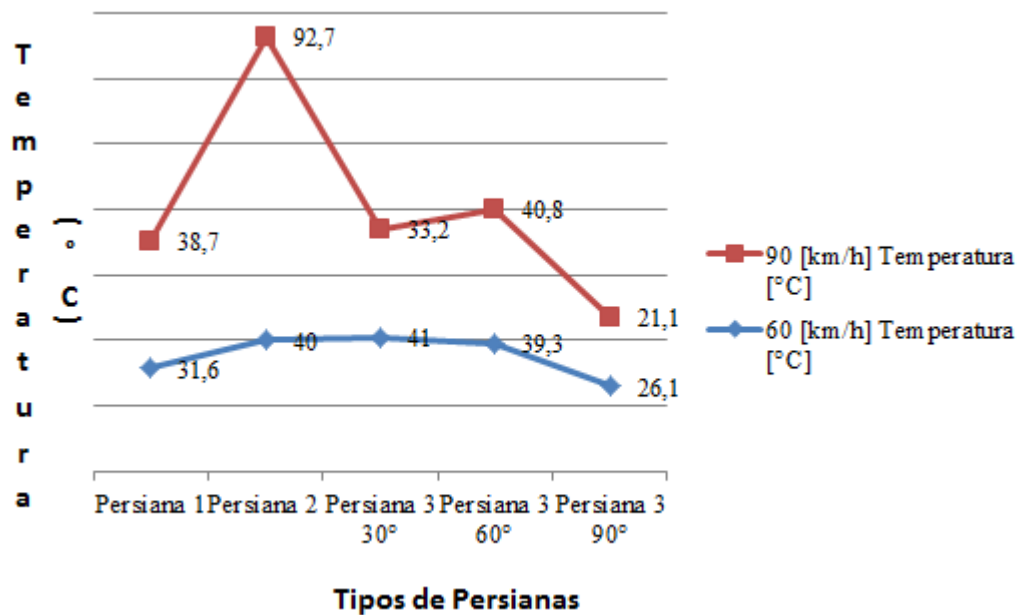


Figura 83. Comparación de resultados de temperatura de persianas simuladas a 60 y 90 km/h. Fuente: Propia

Al definir el diseño de persiana más idónea en la figura 84 se realiza una comparación de resultados obtenidos en la simulación virtual entre la persiana instalada de fábrica en el autobús VS la persiana fabricada, logrando evidenciar claramente que la persiana fabricada es la ideal.

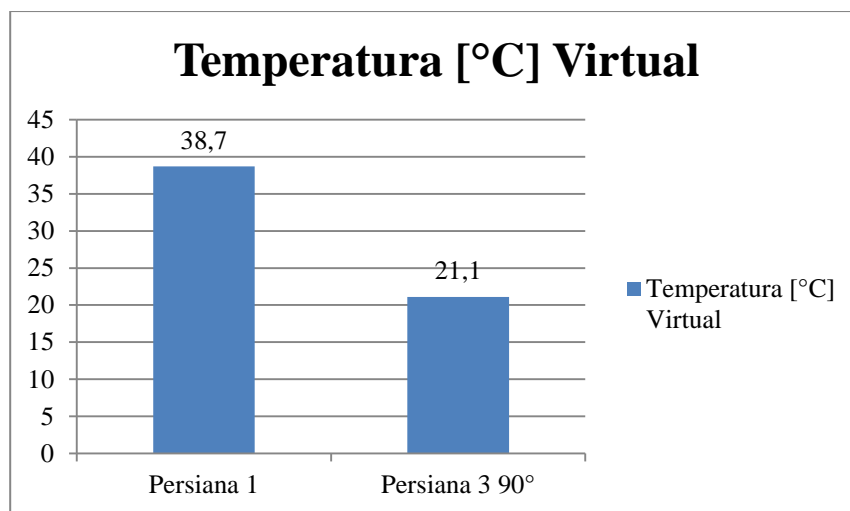


Figura 84. Comparación de resultados de temperatura virtual entre persiana instalada en autobús VS persiana fabricada. Fuente: Propia

De igual manera en la figura 85 se realiza una comparación de resultados entre la persiana instalada en el autobús VS la persiana fabricada, con la diferencia que los resultados fueron obtenidos en prueba de ruta (campo) con la ayuda de un multímetro automotriz en la función temperatura, conjuntamente con su termocupla.

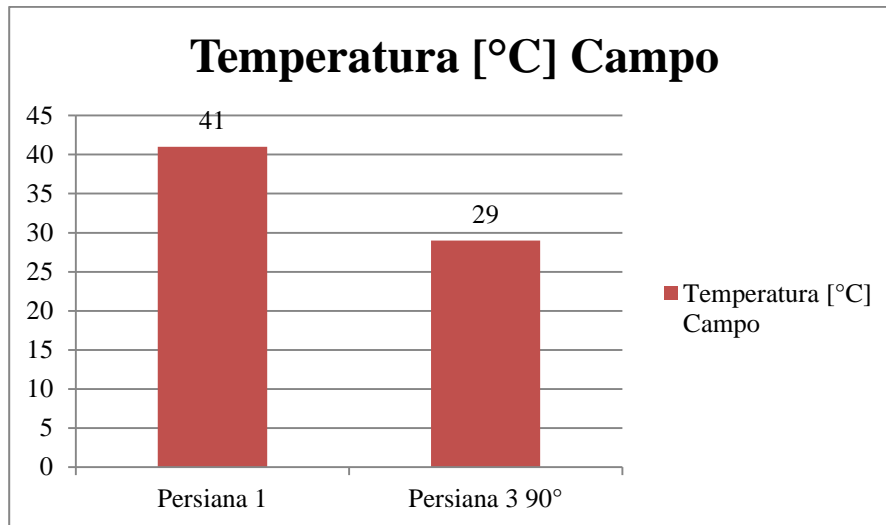


Figura 85. Comparación de resultados de temperatura en campo entre persiana instalada en autobús VS persiana fabricada. Fuente: Propia

En un segundo momento, dentro de la fase de validación de resultados, se estableció la aplicación de fuentes primarias, en este caso se aplicó una entrevista (ANEXO N° 1) cuya finalidad tiene recoger las principales incidencias y opiniones del propietario del vehículo en el cual se implementó la persiana.

En este sentido, se aplicó la entrevista al señor Juan Abel Toasa García propietario del autobús Mejía de disco 49 y se obtuvieron los siguientes resultados:

El propietario del autobús considera que la fabricación de la persiana permite mejorar la ventilación del MCI de los autobuses, generando ventajas ya que en la aplicación de este proceso ya no es necesario elevar la persiana del autobús.

Así también, se pudo constatar mediante la opinión del propietario del autobús que existieron mejoras en cuanto a la ventilación frontal, ya que al constatar en el indicador de temperatura del tablero de instrumentos fue posible para el propietario verificar que el rango de temperatura se encontraba dentro de lo permitido.

Por otro lado, desde el punto de vista estético el propietario del autobús recalca acerca de la apariencia de la persiana, indicando que cuenta con una apariencia agradable y que así también, el material utilizado genera varios beneficios, tomando en cuenta su peso ligero, sus acabados de calidad y su durabilidad al ser fabricado para ser expuesto a rayos UV.

Con estos antecedentes, es evidente que el propietario del autobús se encuentra satisfecho con la persiana fabricada y este a su vez muestra mucho interés en recomendar a los propietarios de las diferentes unidades de transporte del Consorcio Mejía Brito el uso de los servicios con la finalidad de que se pueda continuar con la fabricación en serie de este tipo de persiana.

Conclusiones

- Se modeló las configuraciones de persianas de los autobuses pertenecientes al Consorcio Mejía Brito, con sus medidas reales en un programa CAD, logrando evidenciar su ineficiencia en el aprovechamiento de aire para ventilación del MCI.
- Se analizó el comportamiento aerodinámico entre la persiana instalada en el autobús y la persiana con aspas a 90° en diferentes condiciones de velocidad, presión y temperatura a 90 km/h mediante CFD, en el cual se puede concluir que la persiana con aspas a 90° posee mejor eficiencia aerodinámica, manteniendo una temperatura de 21.1 °C.
- Una vez obtenido los resultados del comportamiento aerodinámico de las persianas para el enfriamiento del MCI del autobús, se propuso la persiana más eficiente.
- El porcentaje de eficiencia referente a la temperatura obtenida con la persiana con aspas a 90° mejoró considerablemente en un 45.48% , comparada con la persiana instalada en el autobús, mediante la aplicación del software Siemens NX como herramienta de diseño, y Ansys como herramienta de análisis CFD.
- En base al estudio del material ASA, se puede fabricar una infinidad de productos o accesorios que estén expuestos a UV, pero sin duda éste se comercializa como un “terpolímero amorfo termoplástico”, con una excepcional resistencia a la intemperie, impulsando de esta manera la matriz productiva del país.
- Al finalizar este proyecto se logra concluir que el diseño aerodinámico de la persiana propuesta mejora considerablemente el aprovechamiento de aire hacia el MCI y a la vez reduce la temperatura del mismo.
- El material ASA presentó adecuadas características en el proceso de impresión 3D, con acabado de calidad.

Recomendaciones

- Antes de intentar trabajar con la herramienta Fluent del software CAE, se debe verificar que en toda la geometría no existan interferencias entre líneas constructivas, ya que se presenta inconvenientes al intentar correr el programa para verificar el comportamiento dinámico del fluido (aire).
- Al realizar un análisis experimental de cualquier componente mecánico es indispensable obtener toda su geometría con medidas reales para que los resultados virtuales se aproximen a los valores prácticos.
- Se debe informar a los propietarios de autobuses del Consorcio Mejía Brito, la ventaja de incorporar éste diseño de persiana propuesta, ya que se mejora notablemente la eficiencia aerodinámica y por ende la disminución de temperatura del MCI.
- Se recomienda el uso de materiales ligeros y resistentes para la construcción de éste tipo de persiana como es el material ASA, que es el más utilizado en el mundo del diseño automotriz para la fabricación de retrovisores por estar expuestos a UV.
- Se debería implementar una norma dentro del marco legal vigente para el diseño de persianas, ya que al realizar el levantamiento de información lo que se encontró fue muy escaso y a la vez éste proyecto se realizó en función de un análisis experimental.
- En una futura investigación se recomienda hacer pruebas de ruta realizando variaciones en el ángulo de las aspas de la persiana (cada 10°), con el fin de observar el comportamiento del flujo de aire con cada variación.

Referencias Bibliográficas

- 3D Systems* . (2012). Obtenido de <http://www.zcorp.com/en/Press-Room/3D-Systems-Completes-Acquisition-of-Z-Corporation/news.aspx>.
- 3DLimitLess*. (27 de 09 de 2016). Obtenido de <https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa>
- Abdullah M.Al-Garni, L. (2009). Experimental study of a pickup truck near wake. *Journal of Wind Engineering*, doi:10.1016/j.jweia.2009.10.001.
- Alonso-Estébanez, J. J.-M. (2016). Numerical simulation of bus aerodynamics on several classes of bridge decks. *Engineering Applications of Computational Fluid*, doi: 10.1080/19942060.2016.1201544.
- ANSYS, C. (9 de Julio de 2017). *About Ansys*. Obtenido de Ansys.com: www.ansys.com/About-ANSYS
- Autopartes, T. (02 de 05 de 2014). *autopartestari.com.ar*. Obtenido de <http://www.autopartestari.com.ar/2014/05/top-materiales-utilizados-en-la-fabricacion-coches.html>
- Beltrán, M. I. (2011). *Estructura y propiedades de los polímeros*. España.
- Belzile, M. (2012). *Transport Canada eco Technology for Vehicles Program*. Ottawa: Centre the technologies transports of surface. .
- Blocken, B. (2014). SPORTS & BUILDING AERODYNAMICS . *Technische Universiteit Eindhoven / University of Technology* .
- Bridgestone. (7 de Julio de 2017). *Specialty Tires | Products | Bridgestone Corporation*. Obtenido de Bridgestone Corporation: http://www.bridgestone.com/products/specialty_tires/
- Burbano de Ercilla S., B. E. (2013). Física General Edición 32. *Editorial Tebar.*, 33-34 .
- Caraguay , C., & Caraguay, S. (2 de 2015). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8929/1/UPS-CT005175.pdf>
- Carrillo, J. M., & Castillo, L. G. (2015). Consideraciones del mallado aplicadas a cálculo de flujos bifásicos con las técnicas de dinámica de fluidos computacional. *Escuela de ingeniería de Caminos y de Minas*, 33-34.

- Castillo Orozco, E. A. (2012). *Validación de un modelo CFD para análisis de golpe de Ariete en conductos cerrados (Bachelor's thesis, Espol)*. Guayaqui.
- CEIC. (2013). *formulasae.grupos.usb.ve*. Obtenido de <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- Cengel, Y. A. (2003). *Termodinámica*. México: McGraw - Hill.
- Chaitanya Chilbule, A. U. (2014). Analyzing the profile modification of truck-trailer to prune the aerodynamic drag and its repercussion on fuel consumption. *ScienceDirect*, doi: 10.1016/j.jweia.2015.01.019.
- Clayton T. Crowe, D. F. (2002). *Mecánica de Fluidos*. México: Cecsca.
- D. Rocchi, L. R. (2012). A numerical–experimental methodology for simulating the aerodynamic forces acting on a moving vehicle passing through the wake of a bridge tower under crosswind. *Journal of Wind Engineering*, doi: 10.1016/j.jweia.2012.03.012.
- Daniel G. Hyams, K. S. (2010). Computational simulation of model and full scale Class 8 trucks with drag reduction devices. *Computers & Fluids*, doi:10.1016/j.compfluid.2010.09.015.
- Daza, G. C. (2011). Las ecuaciones de Navier-Stokes. En G. C. Daza, *Jornadas so bre problemas del milenio*. (pág. 06). Barcelona: s:n.
- Espinoza Cabrera, D. (2016). *Análisis de flujo de aire en el conducto de admisión y válvula de admisión de una motocicleta suzuki de 125cc mediante dinámica de fluidos computacional*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Fórmula Student Cantabria*. (2015). Obtenido de Fórmula Student Cantabria: <http://fscantabria.es/>
- Francesco Mariani, C. P. (2014). Formula – SAE Racing Car: Experimental and Numerical Analysis of the External Aerodynamics. *ScienceDirect*, doi: 10.1533/9780857097422.2.462.
- Francisco Aparicio, C. V. (2016). Teoría de los Vehículos Automóviles. En C. V. Francisco Aparicio, *Teoría de los Vehículos Automóviles* (pág. 119). Madrid : Dextra Editorial. S.L..
- Gazolaz, D. C. (2011). Las ecuaciones de Navier-Stokes. Jornadas so bre problemas del milenio. En D. C. Gazolaz, *Las ecuaciones de Navier-Stokes. Jornadas so bre problemas del milenio*. Barcelona: S/N.
- GONZALEZ, J. J. (2017). DESARROLLO CUALITATIVO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS: UNA APROXIMACIÓN AL PRINCIPIO DE BERNOULLI. 34.
- Harun Chowdhury, H. M. (2013). A study on aerodynamic drag of a semi-trailer truck. *SciVerse ScienceDirect*, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.108.

- Jácome, A. (2014). *ESTUDIO DE LA CONFIGURACION DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACION DE BUTACAS DEPORTIVAS*. Ambato.
- Khayrullina, A., Bert, B., Janssen, W., & Straatform, J. (2015). CFD Simulation of Train Aerodynamics: Train - induced wind conditions at an underground railrod passenger platform. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 106-107.
- Klocke, F., T. Celiker, , F., & and Y.A. Song,. (1995. 1(3): p. 32-42.). *Rapid metal tooling. Rapid Prototyping Journal*,.
- Kruth, J. (1991. 40(2): p. 603-614.). *Material inccress manufacturing by rapid prototyping techniques. CIRP Annals-Manufacturing Technology*.
- LANAS, D. (2007). “ANALISIS Y OPTIMIZACION DE LA AERODINAMICA DE LA CARROCERIA DE UN AUTOBÚS POR MEDIO DE LA UTILIZACIÓN DE UN PROGRAMA DE DISEÑO POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (ENGINEERING FLUID DYNAMICS)”. 07.
- Llansa, M., Franck, G., & Vignolo, G. G. (2014). Caracterización Experimental y Numérica de Túnel de Viento. *FoDAMI (Foro docente del área mánica de las ingenierías)*, 20-21.
- López, R. E. (2008). Diseño de un alerón de un vehículo de competición: comparación de la simulación aerodinámica numérica y la simulación aerodinámica experimental. 07.
- LUIS EDUARDO ANDRADE GARCÍA, P. X. (2012). “ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICADA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS ”. 17-18.
- Manotoa, W. V., & Garcia , H. F. (24 de 11 de 2016). *dspace.epoch.edu.ec*. Recuperado el 27 de 5 de 2017, de Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/5850/1/65T00195.pdf>
- Marchese , R. A., & Golato, M. A. (2011). Consumo de Combustible y energía en el Transporte. *ResearchGate - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, universidad nacional de Tucumán, Argentina.*, 1-9.
- McBeath, S. (2000). *Aerodinámica del Automóvil de Competición*. España: CEAC.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación.
- Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos. En R. L. Mott, *Mecánica de Fluidos* (págs. 11, 14, 231). México: Pearson Educación de México, S.A.
- Mott, R. L. (2006). Mecanica de Fluidos aplicada. En R. L. Mott, *Mecanica de Fluidos aplicada* (pág. 257). Mexico.

- Normalización, I. E. (2009). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1323:2009. *VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES.*, 07.
- Ocaña, J. A. (2010). Mapas mentales y estilos de aprendizaje. (Estrategias de aprendizaje). En J. A. Ocaña, *Mapas mentales y estilos de aprendizaje. (Estrategias de aprendizaje)* (pág. 296). Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Oro, J. M. (2012). Introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos. En J. M. Oro, *Introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos* (págs. 78-84). Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ, S.A. .
- Oro, J. M. (2012). Técnicas Numéricas en Ingeniería de Fluidos . En J. M. Oro, *Técnicas Numéricas en Ingeniería de Fluidos* (pág. 03). Barcelona : Editorial Reverté, S.A. .
- Patten, J., McAuliffe, B., Mayda, W., & Tanguay, B. (2012). *Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses*. Canada : Technical Report.
- PUCHA, A. G. (2016). “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA DE CARRETERA TIPO CUSTOM 125 CC. MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UN CARENADO FRONTAL”. 14 - 21.
- QI Xiao-ni, L. Y.-q. (2011). EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES OF AERODYNAMIC PERFORMANCE OF TRUCKS. *ScienceDirect*, doi:10.1016/S1001-6058(10)60173-4.
- Rodríguez, R., Hernandez, A., & Rainer, C. (2015). *Impresión 3D de repuestos de quilla para propulsor eléctrico de embarcaciones*. Instituto de Ciencias y Tecnologías e Innovación.
- Seminario, R. (2004). *Métodos Numéricos para Ingeniería*. Lima: América .
- SENPLADES. (2013). *Plan Nacional Del Buen Vivir*. Recuperado el 01 de Agosto de 2014, de Plan Nacional Del Buen Vivir: <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- Stratasys. (2016). ASA A UV-STABLE, PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR FDM 3D PRINTERS. *The 3D Printing Solutions Company*.
- Streeter, V. L. (2016). Mecánica de los fluidos. En V. L. Streeter, *Mecánica de los fluidos* (págs. 240-241). México : Libros MCGRAW-HILL DE MÉXICO, S.A., DE C.V. .
- Takuji Nakashima, M. T. (2012). Coupled analysis of unsteady aerodynamics and vehicle motion of a road vehicle in windy conditions. *Computers & Fluids*, doi: 10.1016/j.compfluid.2012.09.028.
- Tresding. (2017). *Fillamentum ASA*. Obtenido de Fillamentum ASA: <https://www.tresding.com/filamentos-especiales/144-fillamentum-asa.html>

- Valero, E. (2004). *insht.es*. Obtenido de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/DTEAntropometriaDP.pdf>
- Valero, J. (2015). *www.hipertextual.com*. Obtenido de <http://blogs.okdiario.com/motor/11407/construye-propio-coche-impresora-3d>
- VALERO, M. (2011). Física 1. *Editorial Norma*, 33-34.
- Volvo, C. (13 de Julio de 2017). *Volvo Trucks Safety Days*. Obtenido de Encamion.com: <http://www.encamion.com/articulo/safety/days/volvo/trucks/camion/encamion>
- WEI Xiu-ling, W. G.-q.-l. (2008). AERODYNAMIC CHARACTERISTICS ABOUT MINING DUMP TRUCK AND THE IMPROVEMENT OF HEAD SHAPE. *ScienceDirect*.
- William Smith, J. T. (9 de 2015). *Driving ergonomics for an elevated*. Obtenido de <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/20107/1/Thesis-2016-Smith.pdf>
- Yasnikowski, M., Rebak, E., Rodriguez, C., & González, F. (2016). *Manufactura aditiva como instrumento de fabricación de una máquina ball-on-flat*. Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. .
- Youhanna E. William, M. H. (2013). INVESTIGATION OF CROSSWIND AERODYNAMICS FOR ROAD VEHICLES USING CFD TECHNIQUE. *National University of Singapore*, doi: 10.13140/2.1.2297.5048.
- Zhu Hui, Y. H. (2008). NUMERICAL ANALYSIS ON EFFECT OF BACK / FRONT WINDSHIELD AND HOOD ANGLE ON AUTOMATIVE AERODYNAMIC DRAG.
- Cárdenas, D., Escudero, J., Quizphi, M. y Amaya, M. (2014). “Propuesta de diseño estructural para buses de carrocería interprovincial”. *Ingenius*. N._11, (Enero-Junio). pp. 42-52. ISSN: 1390-650X.
- Aguilar, Y.; Caldas, I.; Rivera, A.; Tapia, E. (2017). «Estudio de la influencia de la apertura de las ventanas y la velocidad de circulación en la aerodinámica de un vehículo de turismo». *Ingenius*. N._18, (julio-diciembre). pp. 7-13. ISSN: 1390-650X
- <http://giit.blog.ups.edu.ec/areas-de-investigacion/disenio-mecanico-automotriz/formula-sae>
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4037>
- <https://actualidad.rt.com/actualidad/view/6094-Estudiante-ecuatoriano-crea-un-superb%C3%B3lido-en-Mosc%C3%BA>
- Computational simulation of model and full scale Class 8 trucks with drag reduction devices Daniel G. Hyams, Kidambi Sreenivas, Ramesh Pankajakshan, D. Stephen Nichols, W. Roger Briley, David L. Whitfield. SimCenter: National Center for Computational Engineering, University of Tennessee at Chattanooga, TN 37403, USA, 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.compfluid.2010.09.015

DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations. Rose McCallen, Ph.D., et al. April 2006. U.S. Department of Energy by the University of California, Lawrence Livermore National Laboratory.
https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/hvso_2006/02_mccallen.pdf

ANEXO N° 1

ENTREVISTA

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

PROYECTO II

ELABORADO POR: Andrés Cárdenas Yánez

TEMA: "Diseño y construcción de una persiana frontal para evitar el recalentamiento del motor de combustión interna de un autobús tipo AK perteneciente al Consorcio Mejía Brito."

ENTREVISTA

La presente entrevista fue aplicada al propietario del autobús de disco 49 del Consorcio Mejía Brito, la misma tiene como finalidad servir como insumo para el análisis de resultados del proyecto propuesto.

Entrevistado: Juan Abel Toasa García

Cargo: Propietario del autobús Mejía de disco 49

1. ¿Cuál es su concepción acerca del proceso de fabricación de la persiana de su autobús?

Considero que este proceso fue planteado con la finalidad de mejorar la ventilación del MCI de los autobuses, y que genera una gran ventaja al no tener la necesidad de elevar la persiana de mi autobús de forma manual.

2. ¿Considera usted que ha mejorado la ventilación frontal de su autobús con la persiana fabricada?

Realmente sí, ya que he podido constatar en un día de trabajo con la ayuda del indicador de temperatura existente en el tablero de instrumentos de la cabina de mi autobús que el rango de temperatura se encuentra dentro de los rangos permitidos, sin causar recalentamiento en el MCI.

3. ¿Según su criterio, estéticamente el diseño de persiana propuesta para su autobús es de su agrado?

Sí, ahora la apariencia que lleva ya no es rustica como lo era al estar elevada la persiana anterior.

4. ¿Qué opinión tiene usted acerca del material utilizado en la fabricación de la persiana de su autobús?

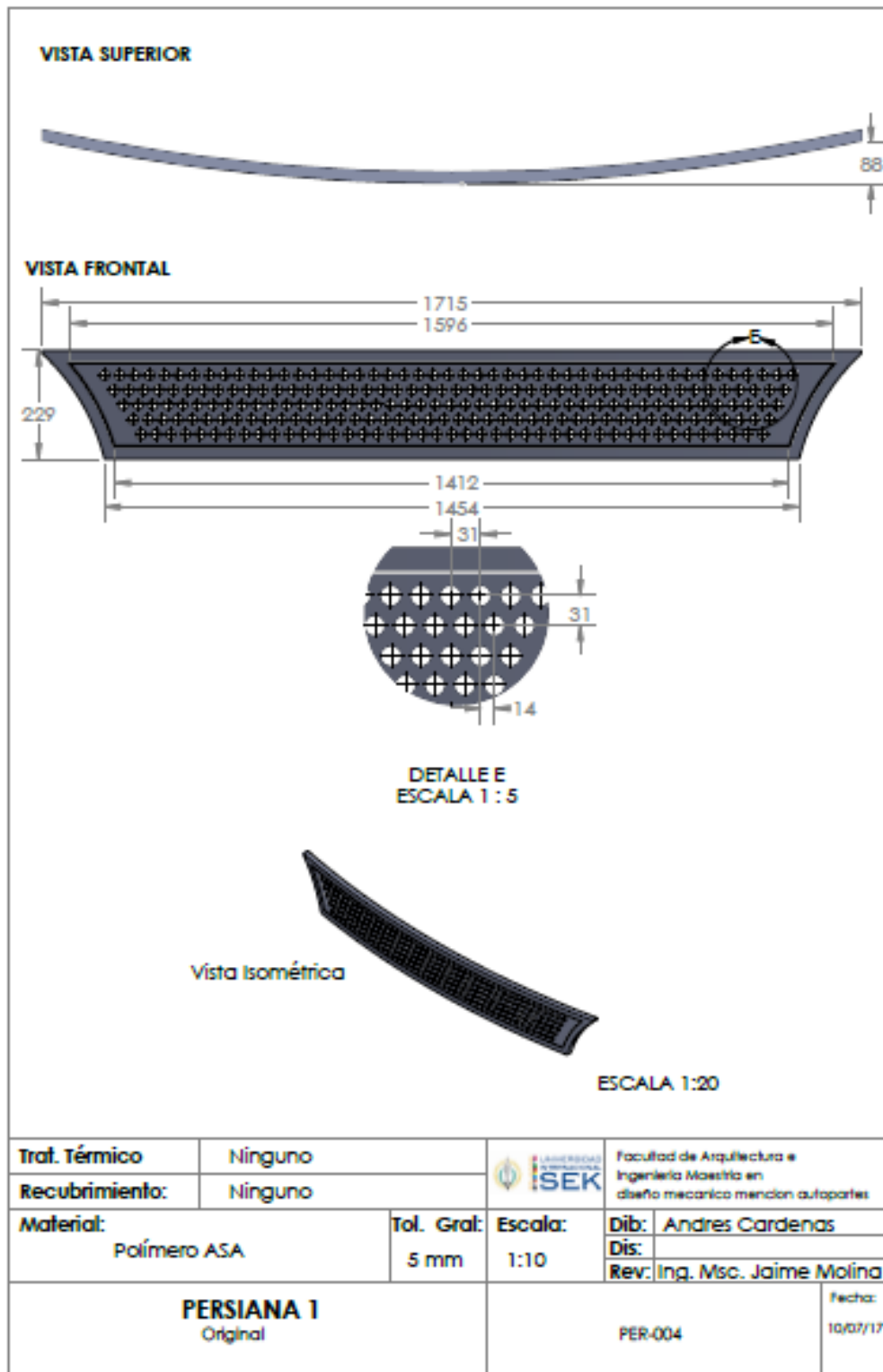
El material me parece adecuado, ya que genera ventajas como: su peso ligero, sus acabados que le permiten tener una estética apropiada y por ser fabricado para ser expuesto a rayos UV.

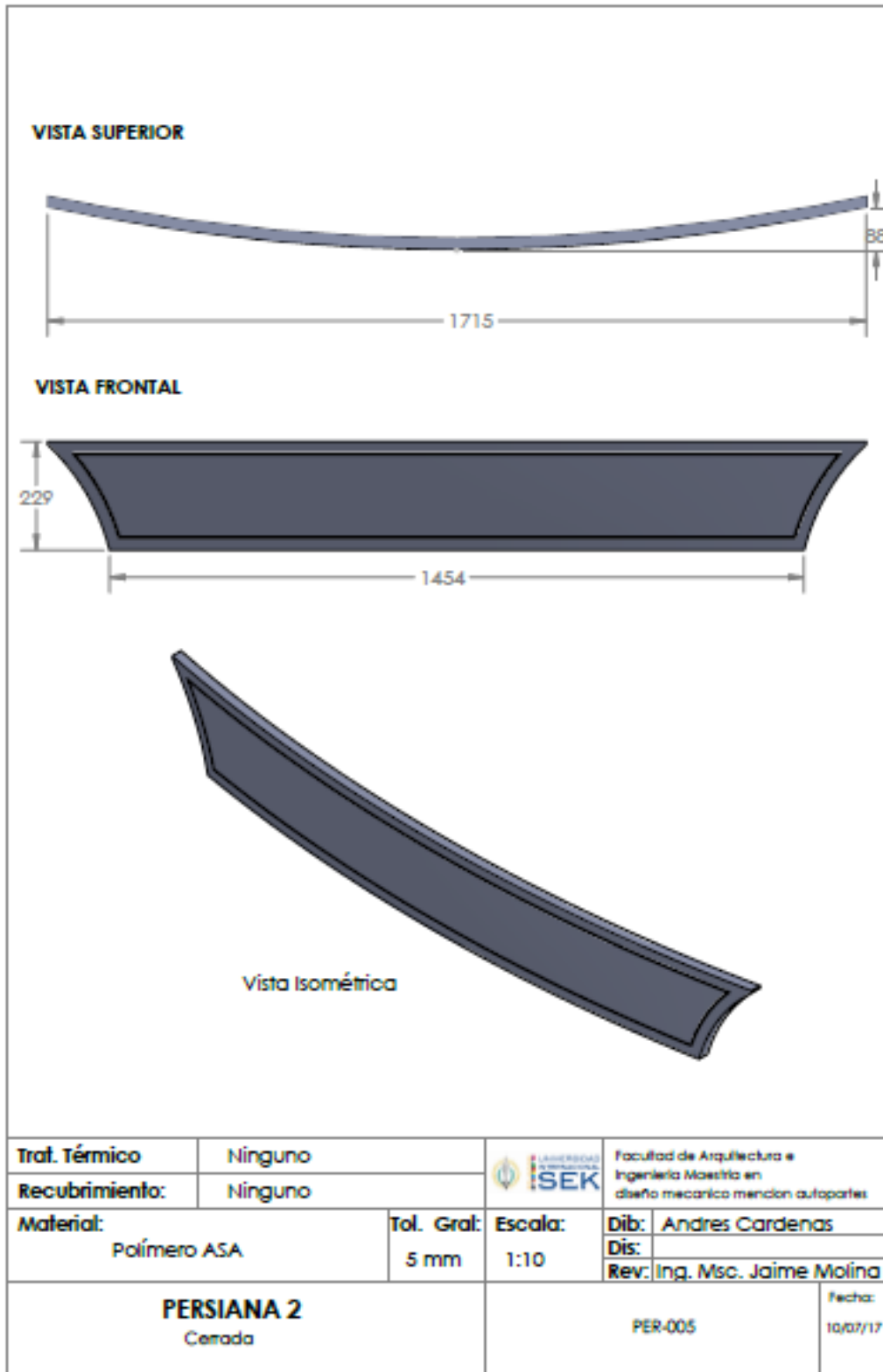
5. ¿Qué recomendaría usted a sus compañeros propietarios de las diferentes unidades de transporte del Consorcio Mejía Brito?

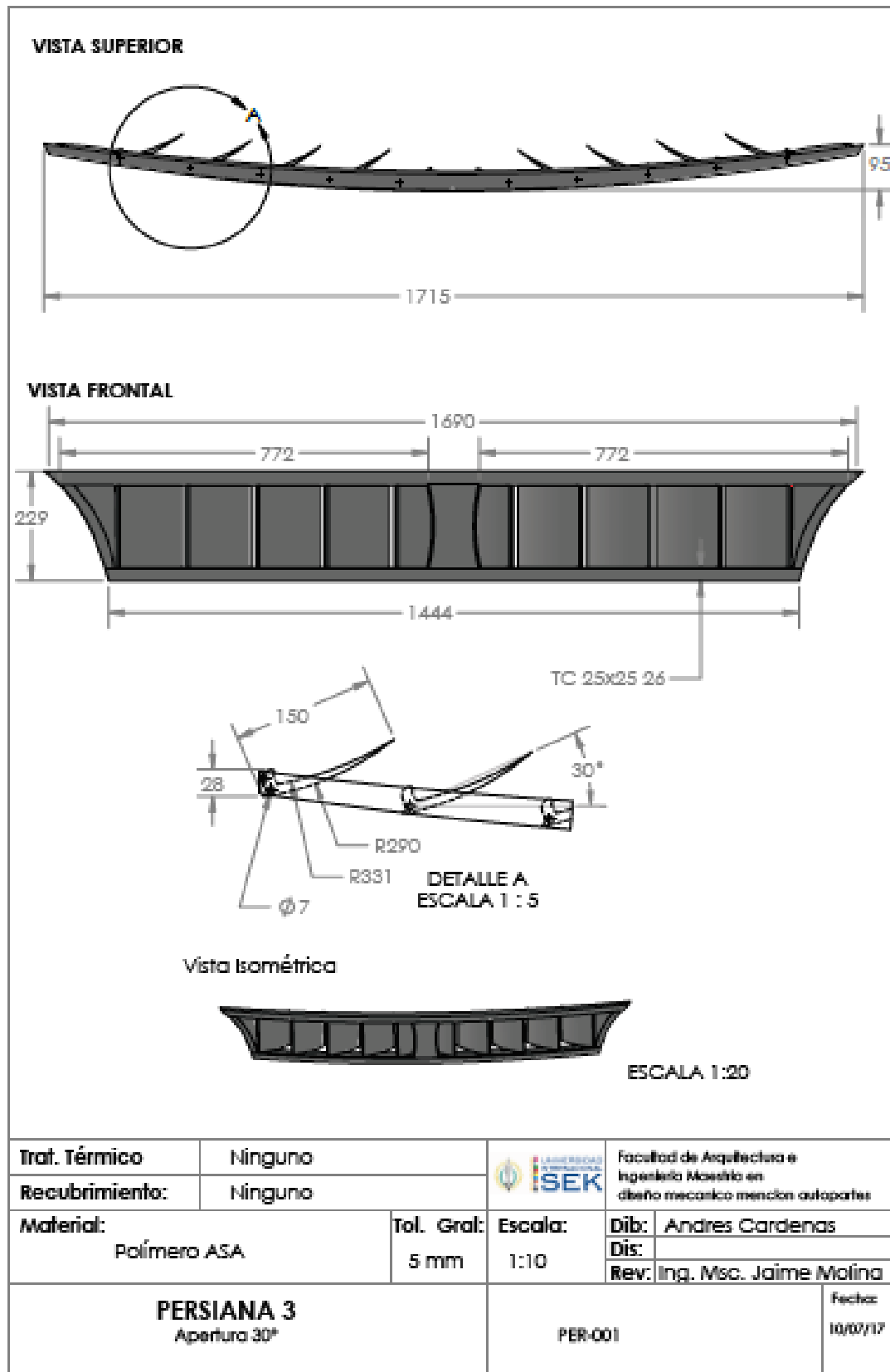
Que se inclinen en solicitar a usted sus servicios para la fabricación en serie de este tipo de persiana, ya que los resultados obtenidos son favorables, lo cual demuestra que además de proporcionar calidad en el producto, también proporciona beneficios preventivos en el uso del MCI de los autobuses.

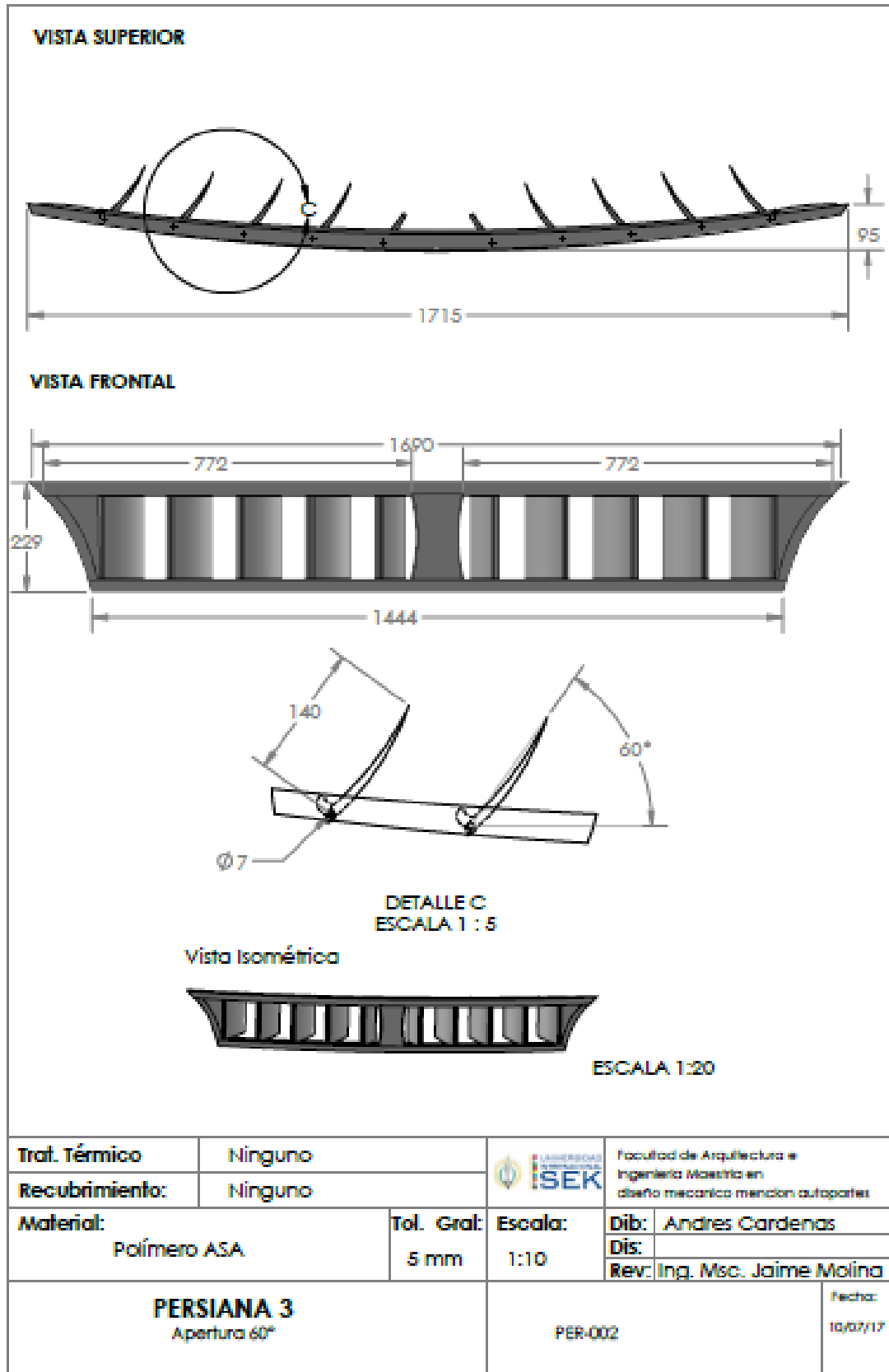
ANEXO N° 2

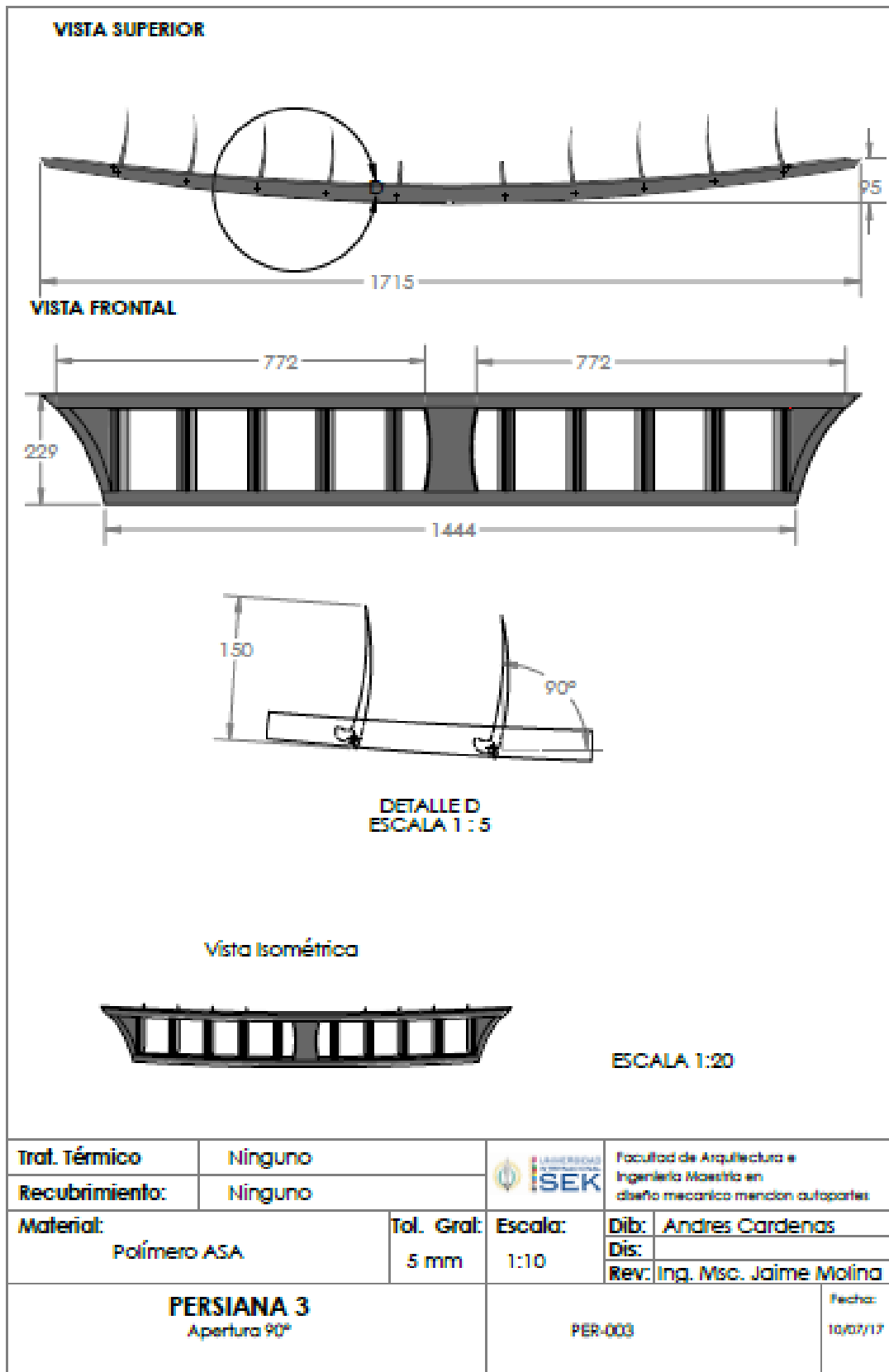
PLANOS DE PERSIANAS












ANEXO N° 3

RANGOS DE CALIDAD DE MALLA EN ANSYS



Mesh Quality


Mesh quality recommendations

Low Orthogonal Quality or high skewness values are not recommended

Generally try to keep minimum orthogonal quality > 0.1, or maximum skewness < 0.95.
However these values may be different depending on the physics and the location of the cell


Fluent reports negative cell volumes if the mesh contains degenerate cells

Skewness mesh metrics spectrum



| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|
| Excellent | Very good | Good | Acceptable | Bad | Unacceptable |
| 0-0.25 | 0.25-0.50 | 0.50-0.80 | 0.80-0.94 | 0.95-0.97 | 0.98-1.00 |

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum



| | | | | | |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Unacceptable | Bad | Acceptable | Good | Very good | Excellent |
| 0-0.001 | 0.001-0.14 | 0.15-0.20 | 0.20-0.69 | 0.70-0.95 | 0.95-1.00 |

© 2012 ANSYS, Inc.
November 20, 2012
14
Release 14.5

ANEXO N° 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MATERIAL ASA



Now you can build consistently high-quality parts, with exceptional UV stability and the best aesthetics of any FDM® thermoplastic. ASA is poised to become the most popular all-purpose prototyping material for users of Fortus 360mc™, 380mc™, 400mc™, 450mc™ and 900mc™ 3D Printers, and the Stratasys F123 Series. Matching or exceeding the mechanical properties of ABS, ASA may be your new favorite general prototyping material. Its UV-resistance makes it especially suited in end-use parts for outdoor commercial and infrastructure use. And its wide selection of colors and matte finish makes it ideal for attractive prototypes in consumer sporting goods, tools and automotive components and accessories.

| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
|---|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| TEST METHOD | STANDARD | ENGLISH | | METRIC | |
| | | XZ ORIENTATION | ZX ORIENTATION | XZ ORIENTATION | ZX ORIENTATION |
| Tensile Strength, Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min) | ASTM D698 | 4,300 psi | 3,850 psi | 29 MPa | 27 MPa |
| Tensile Strength, Ultimate (Type 1, 0.125", 0.2"/min) | ASTM D698 | 4,700 psi | 4,300 psi | 33 MPa | 30 MPa |
| Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min) | ASTM D698 | 280,000 psi | 280,000 psi | 2,010 MPa | 1,950 MPa |
| Elongation at Break (Type 1, 0.125", 0.2"/min) | ASTM D698 | 2% | 2% | 2% | 2% |
| Elongation at Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min) | ASTM D698 | 2% | 2% | 2% | 2% |
| Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min) | ASTM D790 | 8,700 psi | 6,900 psi | 60 MPa | 48 MPa |
| Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min) | ASTM D790 | 270,000 psi | 240,000 psi | 1,870 MPa | 1,650 MPa |
| Flexural Strain at Break (Method 1, 0.05"/min) | ASTM D790 | No Break | 4% | No Break | 4% |

| THERMAL PROPERTIES¹ | TEST METHOD | ENGLISH | METRIC |
|--|-------------|-------------------|-------------------|
| Heat Deflection (HDT) @ 86 psi | ASTM D648 | 208°F | 98°C |
| Heat Deflection (HDT) @ 264 psi | ASTM D648 | 198°F | 91°C |
| Vicat Softening Temperature (Rate B/50) | ASTM D1525 | 217°F | 103°C |
| Glass Transition Temperature (Tg) | DMA (5575) | 228°F | 108°C |
| Coefficient of Thermal Expansion (flow) | ASTM G821 | 4.80E-06 in/in/°F | 4.79E-06 mm/mm/°C |
| Coefficient of Thermal Expansion (nflow) | ASTM G821 | 4.80E-06 in/in/°F | 4.29E-06 mm/mm/°C |

| ELECTRICAL PROPERTIES | TEST METHOD | ORIENTATION | VALUE RANGE |
|-----------------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Volume Resistivity | ASTM D257 | XZ | 1.0E14 - 1.0E15 ohm-cm |
| Dielectric Constant | ASTM D150-98 | XZ | 2.97 - 3.04 |
| Dissipation Factor | ASTM D150-98 | XZ | 0.009 |
| Dielectric Strength | ASTM D149-99, Method A | XZ | 929 W/mil |
| Dielectric Strength | ASTM D149-99 Method A | ZX | 414 W/mil |



STRATASYS.COM



THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY



ASA

A UV-STABLE, PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR FDM 3D PRINTERS



At the core:

Advanced FDM technology

Fortus systems and the Stratasys F123 Series are based on patented Stratasys FDM technology. FDM uses production-grade thermoplastics, enabling the most durable parts. These systems use a wide range of thermoplastics with advanced mechanical properties so your parts can endure high heat, caustic chemicals, sterilization and high-impact applications.

No special facilities needed

You can install a Fortus 3D Printer or Stratasys F123 Series 3D Printer just about anywhere. No special venting is required because these systems don't produce noxious fumes, chemicals or waste.

No special skills needed

Fortus 3D Printers and Stratasys F123 Series 3D Printers are easy to operate and maintain compared to other additive fabrication systems because there are no messy powders to handle and contain. They're so simple, an operator can be trained to operate one in less than 30 minutes.

Get your benchmark on the future of manufacturing

Fine details. Smooth surface finishes. Accuracy. Strength. The best way to see the advantages of a Fortus 3D Printer or Stratasys F123 Series 3D Printer is to have your own part built on one. Get your free part at: stratasys.com.

MECHANICAL PROPERTIES

| TEST METHOD | STANDARD | ENGLISH | METRIC |
|---|-----------|--------------|---------|
| Notched Impact, XZ orientation (Method A, 23°C) | ASTM D558 | 1.2 ft-lb/in | 64 J/m |
| Unnotched Impact, XZ orientation (Method A, 23°C) | ASTM D558 | 8 ft-lb/in | 321 J/m |

| OTHER | TEST METHOD | VALUE |
|----------------------|---------------------------|--------|
| Specific Gravity | ASTM D385 | 1.05 |
| Flame Classification | UL94 | H0 |
| Rockwell Hardness | ASTM D935 (Scale R, 75°F) | 62 |
| UL File Number | ----- | 94ES99 |

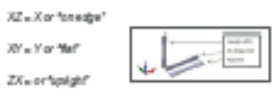
| SYSTEM AVAILABILITY | LAYER THICKNESS CAPABILITY | SUPPORT STRUCTURE | AVAILABLE COLORS ¹ |
|--|----------------------------|-------------------|---|
| Fortus 360mc | 0.110 inch (0.914 mm) | Soluble Support | <input checked="" type="checkbox"/> Black <input checked="" type="checkbox"/> Dark Blue |
| Fortus 360mc | 0.110 inch (0.914 mm) | | <input checked="" type="checkbox"/> Dark Grey <input checked="" type="checkbox"/> Green |
| Fortus 400mc | 0.087 inch (0.178 mm) | | <input type="checkbox"/> Light Grey <input type="checkbox"/> Yellow |
| Fortus 400mc | 0.085 inch (0.127 mm) | | <input type="checkbox"/> White <input type="checkbox"/> Orange |
| Fortus 500mc ² Stratasys F123 Series | | | <input type="checkbox"/> Ivory <input checked="" type="checkbox"/> Red |

Tests were conducted according to published Stratasys FDM material testing methods, in compliance with the relevant ASTM standards. The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (4-7%) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, etc. Actual values will vary with build conditions. Tested parts were built on Fortus 400mc at 0.110" (0.254 mm) slice. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions, or end-use. Each user is responsible for determining that the Stratasys material is safe, lawful and technically suitable for the intended application, as well as for identifying the proper disposal or recycling method consistent with applicable environmental laws and regulations. Stratasys makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranty of merchantability fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

- ¹ Literature values unless otherwise noted.
- ² The test data was collected using ASA (White) specimens. ASA colored material will have similar properties, but can vary by up to 10%.
- Fortus 500mc does not have the 0.085 inch (0.127 mm) layer thickness capability.

Orientation: See Stratasys Testing white paper for more details on description of build orientation.



stratasys

STRATASYS.COM
ISO 9001:2008 Certified

HEADQUARTERS

7665 Commerce Way, Eden Prairie, MN 55944
 +1 888-480-3549 (US Toll Free)
 +1 952-997-3000 (ext)
 +1 952-997-0070 (Fax)

2 Holtzman St., Science Park, PO Box 2499
 Rehovot 76124, Israel
 +972 74 745-4000
 +972 74 745-5000 (Fax)

©2016, 2015, 2014 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, FDM, Fortus and Finishing Touch are registered trademarks of Stratasys Inc. FDM Technology, Rapid Deposition Modeling, Fortus 360mc, Fortus 400mc, Fortus 500mc, Fortus 400mc, Fortus 400mc, Inflight, Control Center, FDM Team, SmartSupport, SR-20, SR-100, ABSplus, ABS-CE3D, and TouchMoria are trademarks of Stratasys, Inc. "ULTEM" is a trademark of SABIC Innovative Plastics IP BV. All other trademarks are the property of their respective owners, and Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance, or use of these non-Stratasys products. Product specifications are subject to change without notice. Printed in the USA. MSS_FDM_ASA_0616



ASA vs. ABS

HOW TO CHOOSE THE RIGHT GENERAL-PURPOSE
THERMOPLASTIC FOR YOUR FORTUS 3D PRODUCTION SYSTEMS

Offering a variety of production-grade thermoplastics, FDM® technology creates parts that are highly accurate, tough and suitable for both functional prototyping and end-use parts. ABS is the most common material used as it boasts good mechanical properties and high name recognition. Compared with ASA, ABS may be more familiar because of its popularity in mass production.

ASA is a thermoplastic, poised to become the most popular all-purpose prototyping material for operators of Fortus® 360mc™, 380mc™, 400mc™, 450mc™ and 900mc™ 3D Production Systems. ASA matches or exceeds the mechanical properties of standard ABS and has greater heat resistance. Moreover, ASA demonstrates exceptional UV stability and, with its matte finish, offers the best aesthetics of any FDM thermoplastic. It's especially suited for end-use parts in outdoor commercial and infrastructure applications, and its wide array of color options surpasses that of ABS.



STRATASYS.COM

stratasys

THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY



ASA vs. ABS

HOW TO CHOOSE THE RIGHT GENERAL-PURPOSE THERMOPLASTIC FOR YOUR FORTUS 3D PRODUCTION SYSTEMS

At the core:

Advanced FDM Technology

Fortus systems are based on FDM technology. FDM uses production-grade thermoplastics, enabling the most durable parts. Fortus systems use a wide range of thermoplastics with advanced mechanical properties so your parts can endure high heat, caustic chemicals, sterilization and high-impact applications.

No special facilities needed

You can install a Fortus 3D Production System just about anywhere. No special venting is required because Fortus systems don't produce noxious fumes, chemicals or waste.

No special skills needed

Fortus 3D Production Systems are easy to operate and maintain compared to other additive fabrication systems because there are no messy powders to handle and contain. They're so simple, an operator can be trained to operate a Fortus system in less than 30 minutes.

Get your benchmark on the future of manufacturing

Fine details. Smooth surface finishes. Accuracy. Strength. The best way to see the advantages of a Fortus 3D Production System is to have your own part built on a Fortus system. Get your free part at: stratasys.com.

| MATERIAL: | ABS-M30™ | ASA |
|-------------------------------|---|--|
| System Availability | Fortus 350mc Fortus 360mc Fortus 400mc Fortus 450mc Fortus 600mc | Fortus 350mc Fortus 360mc Fortus 400mc Fortus 450mc Fortus 600mc |
| Layer Thickness: | | |
| 0.010 inch (0.254 mm) | X | X |
| 0.015 inch (0.381 mm) | X | X |
| 0.020 inch (0.508 mm) | X | X |
| 0.025 inch (0.635 mm) | X* | X |
| Support Structure | Soluble | Soluble |
| Available Colors | <input type="checkbox"/> Ivory <input type="checkbox"/> White <input checked="" type="checkbox"/> Dark Gray <input type="checkbox"/> Blue <input type="checkbox"/> Black <input checked="" type="checkbox"/> Red | <input checked="" type="checkbox"/> Black <input checked="" type="checkbox"/> Dark Gray <input type="checkbox"/> Light Gray <input type="checkbox"/> White <input type="checkbox"/> Ivory <input checked="" type="checkbox"/> Dark Blue <input checked="" type="checkbox"/> Green <input checked="" type="checkbox"/> Yellow <input checked="" type="checkbox"/> Orange <input checked="" type="checkbox"/> Red |
| Tensile Strength† | XY: 4,800 psi (33 MPa) Z: 4,800 psi (33 MPa) | XY: 4,700 psi (33 MPa) Z: 4,300 psi (30 MPa) |
| Tensile Elongation† | XY: 7% Z: 2% | XY: 6% Z: 2% |
| IZOD Impact, unnotched | 6.8 ft-lb/in (92 J/m) | 6.0 ft-lb/in (82 J/m) |
| Z-Strength Ratio | 81% | 81% |
| Unique Properties | Variety of color options | UV-stable with the best aesthetics of any FDM material |

*Tests were conducted according to published Stratasys FDM material testing methods, in compliance with the relevant ASTM standards.

The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, etc. Actual values will vary with the R/C conditions. Tested parts were built on Fortus 400mc at 0.010" (0.254mm) slice. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions, or end-use. Each user is responsible for determining that the Stratasys material is safe, lawful, and technically suitable for the intended application, as well as for identifying the proper disposal (or recycling) method consistent with applicable environmental laws and regulations. Stratasys makes no warranty of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranty of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

*Build orientation is on side long edge.

*Use above values unless otherwise noted.

*Material properties listed are for ivory; some values vary slightly in black.



© info@stratasys.com / STRATASYS.COM
ISO 9001:2008 Certified

HEADQUARTERS

7665 Commerce Way Eden Prairie, MN 55344
+1 888-460-0546 (US Toll Free)
+1 952 927-9000 (Intl)
+1 952 927-0070 (Fax)

2 Holtzman St., Science Park, PO Box 2426
Rohovot 70124, Israel
+972 74 746-4000
+972 74 746-5000 (Fax)

©2016 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, FDM, Fortus, Printing Tools, FDM Technology, Feed Deposition Modeling, Fortus 350mc, Fortus 360mc, Fortus 400mc, Fortus 450mc, Fortus 600mc, Insight, Control Console, FDM Turn, Smart Support, SP-30, SP-300, 300plus, 300+ 300Z, 300+ 400Z and ToolWorks are trademarks of Stratasys, Inc. "UL730" is a trademark of UL730 Inc. in the Province of BC. All other trademarks are the property of their respective owners, and Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance, or use of these other Stratasys products. Product specifications subject to change without notice. Printed in the USA. 001_FDM_428x610_M_018



Actualmente, la Impresión 3D significa alcanzar un nuevo mundo de oportunidades, poder plasmar las ideas y conceptos, cambiar los paradigmas sobre el diseño y entender que los objetos que se fabrican tiene un nuevo significado. La concepción plena de prototipos, permitirá entender de mejor manera, los cambios Innovadores que se pueden efectuar en la producción.

Lograr alcanzar certeza sobre lo funcional, la forma y el diseño, nos llevará a comprender la manera eficaz de enfrentar los procesos de fabricación.

Estos cambios que podrán ser efectivos en la industria, también Infiltrarán de manera especial en el sector educativo, creando modelos para Innovación y emprendimiento en los centros de investigación, universidades y colegios técnicos.

SERVICIO IMPRESIÓN 3D

Cada sector es distinto, y sus necesidades son diferentes. Si su próximo reto requiere de un servicio de Impresión 3D y prototipado rápido, CompuCAD cuenta con los más altos estándares de digitalización 3D y los mejores acabados de impresión, lo que nos permite ofrecer a nuestros clientes productos de calidad adaptados a sus necesidades.



Impresora Industrial Profesional con Tecnología FDM

Tecnología de impresión en termoplásticos, materiales de alta resistencia mecánica, como ABS-M30, ASA, ABSI



Espacio de Impresión:

Largo 91.44 cm x Ancho 60.96 cm x Alto 91.44cm.

Materiales de Modelo:

ABS-M30.- Fuerza al Impacto y a la flexión con propiedades mecánicas elevadas en un 30%

ASA.- Estabilidad UV y la mejor estética

ABSI .- Fuerza al Impacto y a la flexión con propiedades mecánicas elevadas en un 30% la habilidad que sus colores son traslucidos

Material Soporte:

Material de soporte, Material desprendible de los modelos para geometrías complejas

Características de Impresión

Espesor de Capa:

- 0.508-mm (0.020 in.)



- 0.330 mm (0.013 in.)
- 0.254 mm (0.010 in.)
- 0.178 mm (0.007 in.)

Alta Resolución

Las piezas se producen con una precisión de +/- .0035 pulgadas o +/- .0015 pulgadas por pulgada (+/- .089 mm o +/- .0015 mm por mm), la que sea mayor. La precisión de la pieza Z incluye una tolerancia adicional de -0.000 / + altura de la rebanada. Nota: La precisión depende de la geometría. Especificación de exactitud alcanzable derivada de datos estadísticos con un rendimiento dimensional del 95%.

Costos

Costo Aproximado por gramo de impresión, los costos pueden variar según la cantidad de material de modelo y soporte a usar, en el cual podemos abaratar costos en la producción de prototipos

| Costo Aproximado por centímetro cúbico | |
|--|-------------|
| Material Modelo | 79 Centavos |
| Material de Soporte | 79 Centavos |

Material de Soporte siempre será necesario para asegurar el diseño

Si tiene cualquier pregunta o solicitud de información, por favor no dude en ponerse en contacto conmigo directamente.

Saludos Cordiales

Ricardo Santander
AE Tech- CompuCad
Email: ricardo.santander@compuCAD-ec.com
Cel: 0998352523



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Esta ficha de datos de seguridad cumple los requisitos de:
Reglamento (CE) Nº 1907/2006 y Reglamento (CE) Nº 1272/2008

Fecha de publicación 02-mar-2017

Fecha de revisión 27-ene-2017

Revisión B

Sección 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

| | |
|-----------------------------|---|
| Código(s) del producto | SDS-850064 ES E IVY |
| Dinamarca Nº Producto | N/A |
| Nombre Del Producto | ASA Ivory |
| Ref. (Número de referencia) | 311-21000 333-60500 333-90500 355-02140 360-50240 |
| Sustancia/mezcla pura | Mezcla |

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| Uso recomendado | Impresión 3D |
| Usos desaconsejados | No hay información disponible |

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Importador
Stratasys EMEA Regional Office
Airport Boulevard B 120
77836 Rheinmünster, Germany
Phone: +49-7229-7772-0

Para obtener más información, póngase en contacto con
Dirección de correo electrónico info@stratasys.com

1.4 Teléfono de emergencia

| | |
|------------------------|---|
| Teléfono de emergencia | +49 722 97772280 - Europa - Respuesta multilingüe +49 722 97772281 - Mundial - Respuesta en inglés +1 978 495 5580 - EE.UU. - Respuesta multilingüe +85 2 975 70887 - Asia-Pacífico - Respuesta multilingüe +61 2 8011 4763 - Australia - Respuesta multilingüe +86 15626070595 - China - Respuesta en chino |
|------------------------|---|

Sección 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Reglamento (CE) Nº 1272/2008

Esta mezcla está clasificada como no peligrosa conforme al Reglamento (CE) 1272/2008 [SGA]

2.2 Elementos de la etiqueta

Esta mezcla está clasificada como no peligrosa conforme al Reglamento (CE) 1272/2008 [SGA]

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

EUH210 - Puede solicitarse la ficha de datos de seguridad

2.3. Otros peligros.

Si se generan partículas pequeñas durante el procesamiento adicional, la manipulación, o por otros medios, pueden formarse concentraciones de polvo combustibles en el aire. Para más información, ver la sección 7. Para más información, ver la sección 8.

Sección 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.1 Sustancias.

| Nombre químico | Nº CE | Nº CAS | % en peso | Clasificación conforme al Reglamento (CE) Nº 1272/2008 [CLP] | Número de registro REACH |
|---------------------|-----------|----------|-----------|--|--------------------------|
| n-Hexano | 203-777-6 | 110-54-3 | 0.1 - 1 | Skin Irrit. 2 (H315) Repr. 2 (H361f) STOT SE 3 (H336) STOT RE 2 (H373) Asp. Tox. 1 (H304) Aquatic Chronic 2 (H411) Flam. Liq. 2 (H225) | No hay datos disponibles |
| Estireno (monómero) | 202-851-5 | 100-42-5 | 0.1 - 1 | Acute Tox. 4 (H332) Skin Irrit. 2 (H315) Eye Irrit. 2 (H319) Repr. 2 (H361d) STOT RE 1 (H372) Flam. Liq. 3 (H226) | 05-2116364815-37-0000 |

Texto completo de las frases H y EUH: ver la sección 16.

Sección 4: PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios.

| | |
|-----------------------|---|
| Inhalación | Transportar a la víctima al exterior. |
| Contacto con los ojos | Enjuagar bien con abundante agua durante al menos 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior. Consultar con un médico. |
| Contacto con la piel | Lavar la piel con agua y jabón cuando entre en contacto con residuos fundidos. |
| Inyección | Beber abundante agua. No inducir el vómito sin asistencia médica. Llamar inmediatamente a un médico. |

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Síntomas Ninguno conocido.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente.

Nota para el personal médico Tratar los síntomas.

Sección 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1 Medios de extinción.

Medios de extinción apropiados Espuma
Agua

Dióxido de carbono (CO2)
Producto químico seco
Espuma resistente al alcohol

Medios de extinción no apropiados: Ninguno conocido.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligros específicos que presenta el producto químico: Ninguno conocido.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: El personal de lucha contra incendios debe utilizar un aparato de respiración autónomo y traje de aproximación de protección completa en la lucha contra incendios. Utilizar equipos de protección personal.

Sección 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones Individuales: Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitese el contacto con los ojos y la piel. Retirar todas las fuentes de ignición. Barrer para evitar el riesgo de resbalones.

Para el personal de emergencia: Utilizar las medidas de protección personal recomendadas en la sección 8.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Precauciones relativas al medio ambiente: No arrojar a las aguas superficiales ni al sistema de alcantarillado. Mantener alejado de los conductos de agua.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Métodos de contención: Prevenir más fugas o vertidos si se puede hacer de forma segura.

Métodos de limpieza: Recoger por medios mecánicos y depositar en recipientes apropiados para su eliminación.

Prevención de peligros secundarios: Evitar la formación de nubes de polvo. Evitar la acumulación de polvo en espacios confinados. Puede formar concentraciones de polvo combustibles en el aire si se generan partículas pequeñas durante el procesamiento o la manipulación adicionales o por otros medios. Retirar todas las fuentes de ignición.

6.4. Referencia a otras secciones

Referencia a otras secciones: Para más información, ver la sección 8. Para más información, ver la sección 13.

Sección 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Recomendaciones para una manipulación sin peligro: Utilizar equipos de protección personal. Evitar el contacto con la piel y los ojos cuando se manipule el filamento fundido. Si se generan partículas pequeñas durante el procesamiento adicional, la manipulación, o por otros medios, pueden formarse concentraciones de polvo combustibles en el aire. Utilizar un respirador.

Consideraciones generales sobre higiene: Manipular respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

Condiciones de almacenamiento Mantener el contenedor perfectamente cerrado y en un lugar seco y bien ventilado.

7.3. Usos específicos finales.

Medidas de gestión de riesgos (MGR) La información requerida se encuentra en esta ficha de datos de seguridad.

Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1. Parámetros de control.

Límites de exposición

| Nombre químico | Unión Europea | Reino Unido | Francia | España | Alemania |
|---------------------------------|---|--|--|--|---|
| n-Hexano 110-54-3 | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ STEL: 60 ppm STEL: 216 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ TWA: 1000 mg/m ³ STEL: 1500 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ | TWA: 50 ppm TWA: 180 mg/m ³ |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | - | TWA: 100 ppm TWA: 430 mg/m ³ STEL: 250 ppm STEL: 1080 mg/m ³ | TWA: 50 ppm TWA: 215 mg/m ³ TWA: 1000 mg/m ³ STEL: 1500 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ STEL: 40 ppm STEL: 172 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ |
| Nombre químico | Italia | Portugal | Países Bajos | Finlandia | Dinamarca |
| n-Hexano 110-54-3 | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ P ⁿ | TWA: 72 mg/m ³ STEL: 144 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ Iho ⁿ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | - | TWA: 20 ppm STEL: 40 ppm | - | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ STEL: 100 ppm STEL: 430 mg/m ³ | Celling: 25 ppm Celling: 105 mg/m ³ H ⁿ |
| Nombre químico | Austria | Suiza | Polonia | Noruega | Irlanda |
| n-Hexano 110-54-3 | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ STEL 80 ppm STEL 288 mg/m ³ | TWA: 50 ppm TWA: 180 mg/m ³ STEL: 400 ppm STEL: 1440 mg/m ³ H ⁿ | TWA: 72 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ TWA: 40 ppm TWA: 275 mg/m ³ STEL: 30 ppm STEL: 108 mg/m ³ STEL: 60 ppm STEL: 343.75 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 72 mg/m ³ STEL: 60 ppm STEL: 216 mg/m ³ |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ STEL 80 ppm STEL 340 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ STEL: 40 ppm STEL: 170 mg/m ³ | STEL: 100 mg/m ³ TWA: 50 mg/m ³ | TWA: 25 ppm TWA: 105 mg/m ³ STEL: 37.5 ppm STEL: 131.25 mg/m ³ | TWA: 20 ppm TWA: 86 mg/m ³ STEL: 40 ppm STEL: 170 mg/m ³ |

Límites biológicos de exposición ocupacional

| Nombre químico | Unión Europea | Reino Unido | Francia | España | Alemania |
|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|------------|-----------|
| n-Hexano 110-54-3 | - | - | - | 0.2 | 5 mg/L |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | - | - | - | 400 0.2 | 600 mg/g |
| Nombre químico | Italia | Portugal | Países Bajos | Finlandia | Dinamarca |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | - | - | - | 1.2 | |
| Nombre químico | Austria | Suiza | Polonia | Noruega | Irlanda |
| n-Hexano | - | 5 | - | - | - |

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

| | | | | | |
|---------------------|---|-----|---|---|---|
| 110-54-3 | | | | | |
| Estireno (monómero) | - | 400 | - | - | - |
| 100-42-5 | | 500 | | | |

Nivel sin efecto derivado (DNEL) No hay información disponible.

Concentración prevista sin efecto (PNEC) No hay información disponible.

8.2. Controles de exposición.

Controles técnicos Si se genera polvo durante el procesamiento adicional, procurar ventilación por extracción.

Equipos de protección personal

Protección de los ojos/la cara Antiparras. Gafas de seguridad con protectores laterales.

Protección de la piel y el cuerpo Ropa impermeable.

Protección respiratoria Reducir al mínimo la generación y acumulación de polvo. Llevar equipo de protección respiratoria.

Consideraciones generales sobre higiene Manipular respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad.

Controles de exposición medioambiental No hay información disponible.

Sección 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas.

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| Estado físico | Sólido |
| Aspecto | Monofilamento |
| Olor | No hay datos disponibles. |
| Color | Característico |
| Umbral olfativo | No hay información disponible |

| <u>Propiedad</u> | <u>Valores</u> | <u>Comentarios - Método</u> |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| pH | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Punto de fusión / punto de congelación | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Punto de ebullición / Intervalo de ebullición | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Punto de inflamación | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Tasa de evaporación | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Inflamabilidad (sólido, gas) | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Límite de inflamabilidad con el aire | | Ninguno conocido |
| Límite superior de inflamabilidad: | No hay datos disponibles | |
| Límite inferior de inflamabilidad: | No hay datos disponibles | |
| Presión de vapor | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Densidad de vapor | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Densidad relativa | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Solubilidad en el agua | Insoluble en agua | |
| Solubilidad(es) | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Coefficiente de partición | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Temperatura de autoignición | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Temperatura de descomposición | 380 | |
| Viscosidad cinemática | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

| | | |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| Viscosidad dinámica | No hay datos disponibles | Ninguno conocido |
| Propiedades explosivas | No hay información disponible | |
| Propiedades comburentes | No hay información disponible | |

9.2. Información adicional

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Punto de reblandecimiento | No hay información disponible |
| Peso molecular | No hay información disponible |
| Contenido en COV (%) | No hay información disponible |
| Densidad de líquido | No hay información disponible |
| Densidad aparente | No hay información disponible |
| Tamaño de partícula | No hay información disponible |
| Distribución de tamaños de partícula | No hay información disponible |

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad

| | |
|-------------|---|
| Reactividad | Ninguna en condiciones normales de uso. |
|-------------|---|

10.2. Estabilidad química

| | |
|-------------|----------------------------------|
| Estabilidad | Estable en condiciones normales. |
|-------------|----------------------------------|

Datos de explosión

| | |
|------------------------------------|------------|
| Sensibilidad a Impactos mecánicos | Ninguno/a. |
| Sensibilidad a descargas estáticas | Ninguno/a. |

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Posibilidad de reacciones peligrosas | Ninguno durante un proceso normal. |
|--------------------------------------|------------------------------------|

10.4. Condiciones que deben evitarse

| | |
|--------------------------------|--|
| Condiciones que deben evitarse | Calor excesivo. No calentar en exceso para evitar la descomposición térmica. |
|--------------------------------|--|

10.5. Materiales incompatibles

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Materiales incompatibles | Agente comburente. Bases fuertes. |
|--------------------------|-----------------------------------|

10.6. Productos de descomposición peligrosos

| | |
|--|--|
| Productos de descomposición peligrosos | Su combustión produce humos repugnantes y tóxicos. Monóxido de carbono. Dióxido de carbono (CO2). Aldehídos. |
|--|--|

Sección 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

Información sobre posibles vías de exposición

Información del producto

| | |
|-----------------------|--|
| Inhalación | No hay disponibles datos de ensayo específicos sobre la sustancia o la mezcla. |
| Contacto con los ojos | No hay disponibles datos de ensayo específicos sobre la sustancia o la mezcla. |

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

Contacto con la piel No hay disponibles datos de ensayo específicos sobre la sustancia o la mezcla.

Ingestión No hay disponibles datos de ensayo específicos sobre la sustancia o la mezcla.

Información sobre los efectos toxicológicos.

Síntomas Ninguno conocido.

Medidas numéricas de toxicidad.

Toxicidad aguda

Información sobre los componentes

| Nombre químico | DL50 oral | DL50 cutánea | CL50 por inhalación |
|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| n-Hexano | = 25 g/kg (Rat) | = 3000 mg/kg (Rabbit) | = 48000 ppm (Rat) 4 h |
| Estireno (monómero) | = 1000 mg/kg (Rat) | | = 11.7 mg/L (Rat) 4 h |

Efectos retardados e inmediatos, así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto y largo plazo.

Corrosión o Irritación cutáneas No hay información disponible.

Lesiones oculares graves o Irritación ocular No hay información disponible.

Sensibilización respiratoria o cutánea No hay información disponible.

Mutagenicidad en células germinales No hay información disponible.

Carcinogenicidad No hay información disponible.

Toxicidad para la reproducción No hay información disponible.

| Nombre químico | Unión Europea |
|---------------------|---------------|
| n-Hexano | Repr. 2 |
| Estireno (monómero) | Repr. 2 |

STOT - exposición única No hay información disponible.

STOT - exposición repetida No hay información disponible.

Peligro por aspiración No hay información disponible.

Sección 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. Toxicidad

Eco-toxicidad -

Toxicidad acuática desconocida Contiene 99.41 % de componentes con un peligro desconocido para el medio ambiente acuático.

| Nombre químico | Algas/plantas acuáticas | Peces | Toxicidad en microorganismos | Crustáceos |
|----------------|-------------------------|---|------------------------------|------------------------------------|
| n-Hexano | - | 2.1 - 2.98: 96 h Pimephales promelas mg/L LC50 flow-through | - | 1000: 24 h Daphnia magna mg/L EC50 |

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

| | | | | |
|---------------------|--|---|---|--|
| Estireno (monómero) | 0.46 - 4.3: 72 h Pseudokirchneriella subcapitata mg/L EC50 static 0.72: 96 h Pseudokirchneriella subcapitata mg/L EC50 1.4: 72 h Pseudokirchneriella subcapitata mg/L EC50 0.15 - 3.2: 96 h Pseudokirchneriella subcapitata mg/L EC50 static | 58.75 - 95.32: 96 h Poecilia reticulata mg/L LC50 static 3.24 - 4.99: 96 h Pimephales promelas mg/L LC50 flow-through 19.03 - 33.53: 96 h Lepomis macrochirus mg/L LC50 static 6.75 - 14.5: 96 h Pimephales promelas mg/L LC50 static | - | 3.3 - 7.4: 48 h Daphnia magna mg/L EC50 |
|---------------------|--|---|---|--|

12.2. Persistencia y degradabilidad

Persistencia y degradabilidad No hay información disponible.

12.3. Potencial de bioacumulación

Bioacumulación No es probable que se bioacumule.

Información sobre los componentes

| Nombre químico | Coefficiente de partición |
|---------------------|---------------------------|
| Estireno (monómero) | 2.95 |

12.4. Movilidad en el suelo

Movilidad en el suelo No hay información disponible.

12.6. Resultados de la valoración PBT y mPmB

Evaluación PBT y mPmB No hay información disponible.

12.8. Otros efectos adversos

Otros efectos adversos No hay información disponible.

| Nombre químico | UE - Lista de potenciales alteradores del sistema endocrino | UE - Alteradores del sistema endocrino - Sustancias evaluadas |
|---------------------|---|---|
| Estireno (monómero) | Group I Chemical | High Exposure Concern |

Sección 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Residuos de residuos/productos sin usar Eliminar de conformidad con las normativas locales. Evacuar los desechos de conformidad con la legislación medioambiental vigente.

Embalaje contaminado No volver a utilizar los contenedores vacíos.

Sección 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

IMDG

14.1 Nº ID/ONU No regulado
14.2 Designación oficial de No regulado

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

transporte

| | |
|---|-------------------------------|
| 14.3 Clase de peligro | No regulado |
| 14.4 Grupo de embalaje | No regulado |
| 14.6 Contaminante marino | No es aplicable |
| 14.8 Disposiciones particulares | Ninguna/s |
| 14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC | No hay información disponible |

RID

| | |
|--|-----------------|
| 14.1 Nº ID/ONU | No regulado |
| 14.2 Designación oficial de transporte | No regulado |
| 14.3 Clase de peligro | No regulado |
| 14.4 Grupo de embalaje | No regulado |
| 14.6 Peligro para el medio ambiente | No es aplicable |
| 14.8 Disposiciones particulares | Ninguna/s |

ADR

| | |
|--|-----------------|
| 14.1 Nº ID/ONU | No regulado |
| 14.2 Designación oficial de transporte | No regulado |
| 14.3 Clase de peligro | No regulado |
| 14.4 Grupo de embalaje | No regulado |
| 14.6 Peligro para el medio ambiente | No es aplicable |
| 14.8 Disposiciones particulares | Ninguna/s |

IATA

| | |
|--|-----------------|
| 14.1 Nº ID/ONU | No regulado |
| 14.2 Designación oficial de transporte | No regulado |
| 14.3 Clase de peligro | No regulado |
| 14.4 Grupo de embalaje | No regulado |
| 14.6 Peligro para el medio ambiente | No es aplicable |
| 14.8 Disposiciones particulares | Ninguna/s |

Sección 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla.

Normativas nacionales.

Francia

Enfermedades profesionales (R-483-3, Francia)

| Nombre químico | Número de RG (Registro general) francés | Título |
|---------------------------------|---|--------|
| n-Hexano 110-54-3 | RG 59, RG 84 | - |
| Estireno (monómero) 100-42-5 | RG 56, RG 84 | - |

Unión Europea

Tome nota de la Directiva 98/24/CE relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo

Autorizaciones y/o restricciones de uso:

Este producto no contiene sustancias sujetas a autorización (Reglamento (CE) nº 1907/2006 (REACH), Anexo XIV) Este producto no contiene sustancias sujetas a restricción (Reglamento (CE) nº 1907/2006 (REACH), Anexo XVII)

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

Contaminantes orgánicos persistentes
No es aplicable

Reglamento (CE) 1005/2008 sobre las sustancias que agotan el ozono (SAO) No es aplicable

16.2. Evaluación de la seguridad química

Informe de seguridad química No hay información disponible

Sección 16: OTRA INFORMACIÓN

Clave o leyenda de abreviaturas y acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad

Texto completo de las indicaciones de peligro mencionadas en la Sección 3:

- H332 - Nocivo en caso de inhalación
- H315 - Provoca irritación cutánea
- H319 - Provoca irritación ocular grave
- H361d - Se sospecha que daña al feto
- H372 - Provoca daños en los órganos por una exposición prolongada o repetida en caso de inhalación
- H226 - Líquidos y vapores inflamables
- H361f - Se sospecha que perjudica la fertilidad
- H336 - Puede provocar somnolencia o vértigo
- H373 - Puede provocar daños en los órganos por una exposición prolongada o repetida en caso de inhalación
- H304 - Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias
- H411 - Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos
- H225 - Líquido y vapores muy inflamables

Leyenda

SEP: Sustancias extremadamente preocupantes para su autorización:

Leyenda Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

TWA TWA (promedio ponderado en el tiempo) STEL STEL (Límite de exposición a corto plazo, Short Term Exposure Limit)
Techo Valor límite máximo * Designación de la piel

| Procedimiento de clasificación | |
|--|-------------------|
| Clasificación conforme al Reglamento (CE) Nº 1272/2008 [CLP] | Método utilizado |
| Toxicidad aguda oral | Método de cálculo |
| Toxicidad aguda cutánea | Método de cálculo |
| Toxicidad aguda por inhalación - gas | Método de cálculo |
| Acute Inhalation toxicity - Vapor | Método de cálculo |
| Toxicidad por inhalación aguda - polvo/neblina | Método de cálculo |
| Corrosión o irritación cutáneas | Método de cálculo |
| Lesiones oculares graves o irritación ocular | Método de cálculo |
| Sensibilización respiratoria | Método de cálculo |
| Sensibilización de la piel | Método de cálculo |
| Mutagenicidad | Método de cálculo |
| Carcinogenicidad | Método de cálculo |
| Toxicidad para la reproducción | Método de cálculo |
| STOT - exposición única | Método de cálculo |
| STOT - exposición repetida | Método de cálculo |
| Toxicidad acuática aguda | Método de cálculo |
| Toxicidad aguda para el medio ambiente acuático | Método de cálculo |
| Toxicidad por aspiración | Método de cálculo |
| | Método de cálculo |

Fecha de revisión 27-ene-2017

SDS-850064 - ASA Ivory

Fecha de revisión 27-ene-2017

Esta ficha de datos de seguridad cumple los requisitos del Reglamento (CE) nº 1907/2008

Descargo de responsabilidad

La información facilitada en esta ficha de datos de seguridad procede de una fuente de terceros. Aunque consideramos esa información correcta en la fecha de su publicación, no formulamos ninguna aseveración o garantía en relación con la exactitud o completitud de la información ni la calidad o especificación de cualesquiera materiales, sustancias o mezclas a los/las que en ella se haga referencia (de manera colectiva, "materiales"). La información se facilita únicamente como guía para la seguridad en la manipulación, el uso, el consumo, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la eliminación y la liberación de los materiales. La información puede no ser suficiente para esos fines y el usuario no debe fiarse de la información facilitada. La información puede no ser aplicable a los materiales combinados con cualesquiera otros materiales o en cualquier proceso distintos de los indicados expresamente. No aceptamos ningún tipo de responsabilidad legal, incluidas pero sin limitación las responsabilidades por daños, pérdidas o gastos, que puedan derivar o resultar de la confianza en la información contenida en esta ficha de datos de seguridad. Esta ficha de datos de seguridad sigue siendo propiedad exclusiva nuestra y no debe ser reproducida, modificada o distribuida sin nuestro consentimiento previo por escrito.

Fin de la ficha de datos de seguridad