



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

**MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y
SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA**

Proyecto de investigación y desarrollo
previo a la obtención del Grado de
Magister en Métodos Matemáticos
y Simulación Numérica en Ingeniería

**SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AIRE Y
TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN ENFRIADOR
VERTICAL CON PUERTA PANORÁMICA**

Autor:

Freddy Eduardo Narváez Buestán

Dirigido por:

Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos

**SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE
AIRE Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN
UN ENFRIADOR VERTICAL CON PUERTA
PANORÁMICA**

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AIRE Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN ENFRIADOR VERTICAL CON PUERTA PANORÁMICA

AUTOR:

FREDDY EDUARDO NARVÁEZ BUESTÁN

Ingeniero Mecánico en Diseño de Máquinas

Egresado de la Maestría en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en
Ingeniería

Facultad de Ingenierías

Universidad Politécnica Salesiana

DIRIGIDO POR:

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

Ingeniero Mecánico

Magister en Ingeniería

Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica.



Cuenca-Ecuador

NARVÁEZ BUESTÁN FREDDY EDUARDO

“SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AIRE Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN ENFRIADOR VERTICAL CON PUERTA PANORÁMICA”

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, 2017

MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA

Formato 170x240mm

Páginas: 58

Breve reseña del Autor e información de contacto:



FREDDY EDUARDO NARVÁEZ BUESTÁN

Ingeniero Mecánico en Diseño de Máquinas

Posgrado en Docencia Universitaria por Competencias-UDA

Egresado de la Maestría en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería.

Grupo de Investigación y Desarrollo de Simulación, Optimización y Toma de Decisiones.

freddyedu77@hotmail.com

Dirigido por:



NELSON GUSTAVO JARA COBOS

Ingeniero Mecánico

Magister en Ingeniería

Docente de la carrera de Ingeniería Mecánica

Grupo de Investigación y Desarrollo de Simulación, Optimización y Toma de Decisiones.

njara@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación al autor.

DERECHOS RESERVADOS

©2017 Universidad Politécnica Salesiana

CUENCA-ECUADOR-SUDAMÉRICA

FREDDY EDUARDO NARVAEZ BUESTÁN

“SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AIRE Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN ENFRIADOR VERTICAL CON PUERTA PANORÁMICA”

IMPRESO EN ECUADOR - PRINTED IN ECUADOR

INDICE

CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	1
.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 ESTADO DEL ARTE	4
CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL COBERTOR DEL ENFRIADOR VERTICAL DE PUERTA PANORAMICA Y LEVANTAMIENTO CAD DEL MODELO	13
2.1 Características Físicas del Cobertor	13
2.1.1 Material.....	13
2.2 Características Mecánicas.....	14
2.3 Proceso de Fabricación del Cobertor.....	14
2.3.1 Preparación de la Lámina	15
2.4 Funciones del cobertor	17
2.5 Levantamiento CAD del cobertor	17
2.5.1 Cajón del Enfriador Vertical	17
2.5.2 Enfriador Vertical completo en CAD.	18
CAPITULO 3: ELABORAR EL MODELO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COBERTOR UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO (PREPROCESAMIENTO).....	20
.....	20
3.1 Diseño del Conjunto de Simulación para el enfriador Vertical	20
3.1.1 Creación de una geometría Tridimensional	20
3.1.2 Simplificaciones del modelo CAD	20

3.1.3 Esquema CAD para preproceso	21
3.2 Elección de Software.....	22
3.3 Discretización Espacial	22
3.4 Condiciones iniciales y de Contorno.....	24
3.5 Desarrollo del Modelo Matemático.....	28
3.5.1 Modelo de Turbulencia.....	28
3.5.2 Ecuaciones de Gobierno	28
CAPITULO 4: SIMULACIÓN DE FLUJOS DE AIRE Y CONTORNOS DE TEMPERATURA	31
CAPITULO 5: VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN MEDIANTE DATOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO.....	41
CAPITULO 6: PROPUESTA DE MEJORA EN EL DISEÑO DEL COBERTOR	48
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de Mallado: (a) Refrigerador vacío; (b) Refrigerador con bandejas de vidrio c)Refrigerador cargado de producto.....	5
Figura 2. Perfil de temperaturas en el interior del refrigerador.....	6
Figura 3. Detalle de las líneas de corriente de la salida del aire de la hélice.....	7
Figura 4. Mapas de velocidades de temperatura y vectores.....	8
Figura 5. Mediciones experimentales de temperatura con respecto al tiempo.....	9
Figura 6. Distribución de Velocidades m/s.	10
Figura 7. Contorno de Temperatura en un plano medio YZ.....	10
Figura 8. Comparación de resultados para la Temperatura en función del tiempo.....	11
Figura 9. Planos de temperatura de paquete.	12
Figura 10. Lámina De Poliestireno de Alto Impacto PAI 1400x580x2mm.	15
Figura 11. Cargado de Lámina en Termoformadora.	15
Figura 12. Molde de aluminio montado en Termoformadora.	16
Figura 13. Cobertor Termoformado.....	16
Figura 14. Cobertor Troquelado.....	16
Figura 15. Cobertor visto de frente.....	17
Figura 16. Cajón.	18
Figura 17. Enfriador vertical dibujado en Inventor.	18
Figura 18. Enfriador vertical real.	19
Figura 19. Noyos del cajón.	20
Figura 20. Esquema CAD del Enfriador Vertical.....	21
Figura 21. Detalle de Mallado en Ansys.	22

Figura 22. <i>Detalle de Mallado.....</i>	23
Figura 23. <i>Detalle de Mallado posterior.....</i>	23
Figura 24. <i>Detalle de Mallado de salidas de flujo de aire.</i>	24
Figura 25. <i>Circuito Térmico de las paredes del Enfriador Vertical.....</i>	24
Figura 26. <i>Condiciones para la Simulación.</i>	25
Figura 27. <i>Medición de flujos de aire.</i>	26
Figura 28. <i>Posición de flujos de aire.</i>	27
Figura 29. <i>Flujo másico que entra y sale de un elemento en 3 dimensiones.....</i>	29
Figura 30. <i>Lineas de corriente de flujo, vista lateral.</i>	31
Figura 31. <i>Líneas de corriente de flujo, vista frontal.</i>	32
Figura 32. <i>Líneas de corriente de flujo, Perspectiva.....</i>	32
Figura 33. <i>Troqueles de cobertor para flujos de aire.</i>	33
Figura 34. <i>Plano de Temperatura en el centro Geométrico del artefacto.</i>	34
Figura 35. <i>Puntos de medición de temperatura en el plano del centro geométrico.....</i>	34
Figura 36. <i>Flujo de calor de las paredes.</i>	35
Figura 37. <i>Flujo de calor de la puerta de vidrio.</i>	36
Figura 38. <i>Coeficiente de transferencia de calor de la pared de la puerta de vidrio.</i>	36
Figura 39. <i>Coeficiente de transferencia de calor de las paredes.....</i>	37
Figura 40. <i>Turbulence Eddy Dissipation de la puerta de vidrio.....</i>	37
Figura 41. <i>Turbulence Eddy Dissipation de las paredes.....</i>	38
Figura 42. <i>Energía cinética de Turbulencia de las paredes.</i>	38
Figura 43. <i>Energía cinética de Turbulencia de la puerta de Vidrio.....</i>	39
Figura 44. <i>Convergencia del método.</i>	40

Figura 45. <i>Termocuplas colocadas en el centro geométrico.....</i>	41
Figura 46. <i>Esquema de Termocuplas.</i>	42
Figura 47. <i>Artefacto VFV 400.</i>	42
Figura 48. <i>Pantalla de entorno de Software TI-33Ri.</i>	43
Figura 49. <i>Configuración de Software para inicio de prueba.....</i>	43
Figura 50. <i>Ciclaje del artefacto en 24 horas.....</i>	44
Figura 51. <i>Estabilización de temperatura en el centro geométrico.....</i>	44
Figura 52. <i>Comparación de graficas con valores de laboratorio y simulación.</i>	47
Figura 53. <i>Cobertor mejorado los ductos de salida de aire.</i>	48
Figura 54. <i>Simulación del flujo de aire al interior del enfriador.....</i>	49
Figura 55. <i>Flujo de aire al interior del enfriador (vista frontal).</i>	49
Figura 56. <i>Diseño de cobertor 3 salidas inclinadas (Propuesta).</i>	50
Figura 57. <i>Diseño de cobertor 2 salidas rectas (Diseño actual)</i>	50
Figura 58. <i>Plano de temperatura en el centro geométrico.....</i>	51
Figura 59. <i>Posición de los 7 puntos referenciales de Temperatura.....</i>	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades Físicas del Styron A-Tech 1175.....	13
Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas del Styron A-Tech 1175.....	14
Tabla 1.3 <i>Propiedades Térmicas del Styron A-Tech 1175</i>	14
Tabla 1.4 <i>Velocidad de Ductos</i>	26
Tabla 1.5 <i>Temperaturas de simulación</i>	35
Tabla 1.6 <i>Temperaturas de Laboratorio</i>	45
Tabla 1.7 <i>Comparación de Temperaturas</i>	45
Tabla 1.8 <i>Extracto de Valores de Norma</i>	46
Tabla 1.9 <i>Validación de datos de Temperatura</i>	46
Tabla 1.10 <i>Validación de datos de Temperatura con la Normativa</i>	53

Dedicatoria

Todo este logro alcanzado lo dedico a mi amada esposa Vivi y a mi adorado hijo Thiago Eduardo, ustedes son mi mayor motivación e inspiración en esta vida, gracias por ayudarme a cumplir este meta y las venideras.

A Jorge Eduardo(+), va por ti mi viejito amado, ya ves fui por más, no te has ido del todo, ya que una meta me dejaste a seguir y tu recuerdo es felicidad en mi vida.

A mi Aidita, tu infinita bondad de madre, es motivación para cada día ser mejor persona, y ser tu orgullo, gracias por todo lo que has hecho por mí mamita.

A Jenny, Marcelo, Naty, al nuevo Angelito,
Jorge, Jorgito, Ceci, Vale, Mika,
Abue Rubén, mi primo Jonathan Alejandro (+)
y todo el resto de la banda, gracias por el apoyo.

PREFACIO

Este proyecto de investigación presenta el análisis del diseño actual de un Cobertor de un Enfriador Vertical con Puerta Panorámica.

Mediante la simulación se analiza los flujos de aire y el comportamiento al interior del Enfriador, para de esta manera optimizar tiempos de Desarrollo.

Este trabajo está desarrollado empleando el software ANSYS FLUENT V18.0

Los resultados de este trabajo investigativo y todos los procedimientos empleados servirán como base para futuras investigaciones en el campo de la refrigeración comercial.

PRÓLOGO

El uso de software para realizar simulaciones disminuye los tiempos en los procesos de producción en serie de la industria en general; específicamente esta situación no es ajena a la industria de línea blanca, por lo que hoy en día es imprescindible el uso de herramientas informáticas para conseguir una mayor efectividad en los diseños y procesos de mejora de los productos.

Si se realiza un Benchmarking, es decir una comparación con la metodología de acción utilizadas por los mejores productores a nivel mundial de electrodomésticos, se puede concluir que la adopción de dichas prácticas en la industria local, será de mucho beneficio para la mejora de los procesos productivos [1], en este sentido una de las prácticas utilizadas por las grandes industrias de electrodomésticos es la simulación mediante software especializado de los diferentes procesos que implica la manufactura de electrodomésticos, es por ello que en este trabajo se utiliza el software ANSYS como una de las herramientas más versátiles que existen para dar soluciones técnicas idóneas a la mejora del producto, que le posibilite ser competitivo en el mercado Latinoamericano (LATAM).

Se plantea el desarrollo de un modelo matemático que identifique el comportamiento del flujo de aire al interior de un enfriador comercial con puerta panorámica.

Para lograr los objetivos propuestos se han planteado 6 capítulos, de los cuales en el capítulo 1 se aborda el estado de arte y la situación actual, en el capítulo 2 se estudian las características físicas y mecánicas del cobertor, en el capítulo 3 se plantea el pre proceso, desarrollando un estudio de las ecuaciones de gobierno para el establecimiento del mallado, en el capítulo 4 se realiza la simulación de

flujos y se visualiza las temperaturas en el centro geométrico del artefacto, para este capítulo es importante el correcto manejo del software a fin de poder conseguir la convergencia del método, en el capítulo 5 se ejecuta la comparación de los datos obtenidos en la simulación contra los datos obtenidos en la prueba de laboratorio, con esta comparación se puede garantizar que el modelo matemático desarrollado presenta resultados que están dentro de los valores admisibles establecidos en las normas correspondientes, en el capítulo 6 se establecen mejoras en el diseño del cobertor y se realiza una simulación para comprobar la mejora planteada.

AGREDECIMIENTOS

A la empresa Indurama por el apoyo brindado, al Tlgo. Jorge León y al Departamento de Desarrollo, especialmente a mis panas Franklin Pando y Juan Ospina.

Al Ing. Nelson Jara por su gentil ayuda con la dirección de la tesis y su valioso aporte con su experiencia en el campo de la Refrigeración.

Al Ing. Frank Reinoso por permitirme formar parte del Grupo de Investigación y Desarrollo de Simulación, Optimización y Toma de Decisiones.

Al Ing. Paul Torres por su valioso aporte con la revisión de este trabajo.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

1.1 ANTECEDENTES

La demanda de enfriadores comerciales con puerta panorámica representa un mercado que en Ecuador está en expansión, esto se debe fundamentalmente a que varios productos alimenticios comerciales se exhiben en dichos equipos para ser vendidos al público; por otro lado salvaguardas impuestas por el gobierno[2] , han restringido las importaciones de enfriadores comerciales, fomentando la producción local y nacional, en este sentido en el país existen 3 grandes empresas como son: Indurama, Ecasa y Mabe, que fabrican este tipo de equipos y otros similares, con producciones anuales aproximadamente de 40.000 unidades, sin embargo ninguna de ellas, en sus departamentos de diseño y desarrollo, utilizan la simulación como herramienta para la mejora y optimización de sus productos; se hace esta afirmación, ya que se ha verificado que únicamente realizan ensayos empíricos para determinar el comportamiento del flujo de aire a la salida del cobertor, aportándoles criterios que posibilitan determinar las dimensiones correctas de dicha salida.

En cambio, desde una mirada externa, algunas empresas internacionales productoras de enfriadores comerciales con puerta panorámica, contemplan como parte de sus procesos de optimización y desarrollo de productos, el estudio del comportamiento de los sistemas de refrigeración doméstica mediante el método de elementos finitos y la simulación mediante software especializado. Esto les ha permitido contar con alternativas tecnológicas que les ha llevado a mejorar sus productos y sobre todo a conseguir mayor eficiencia energética.

Por lo antes mencionado, específicamente la empresa Indurama S.A. ha visto la necesidad de imitar estas acciones en su Departamento de Sistemas de Refrigeración, ya que consideran que les posibilitaría establecer propuestas para la mejora de sus productos.

Para establecer la simulación de un enfriador vertical, es conveniente plantear supuestos para el análisis únicamente sujeto a convección natural, radiación nula y régimen estacionario[3]; se debe tomar en cuenta algunos factores como el tipo de bandejas interiores, su material y acabado que poseen, ya que estos accesorios presentan una elevada influencia en el estudio de los flujos internos.

A través del software ANSYS, se puede analizar el flujo de aire en tres escenarios distintos, el primero mediante la curva característica de la hélice del ventilador obtenido en laboratorio, el segundo utilizando las rpm del ventilador y considerándolo como un volumen rotatorio constante [4] y el tercero utilizando el flujo másico, mismo que se obtiene del valor del flujo de aire a la salida del cobertor.

La Transferencia de calor es de vital importancia en el interior de un enfriador, para ello el empaque magnético cumple la función de sellante entre el ambiente exterior y el interior del refrigerador, evitando fugas y pérdidas de eficiencia energética.[5]

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en la empresa Indurama no se simula el comportamiento de un enfriador comercial de puerta panorámica para verificar su diseño óptimo; el método que se utiliza es el de prueba error desarrollado en laboratorio, utilizando para ello métodos empíricos; los resultados que se han obtenido presentan variaciones que llevan a incrementar recursos económicos y de personal. Por este motivo la empresa está interesada en implementar procesos de simulación para realizar los estudios en el comportamiento de los sistemas de refrigeración doméstica, específicamente los enfriadores verticales de puerta panorámica.

Con la intención de mejorar los productos y ser más competitivos en el mercado local e internacional, es indispensable apropiarse de los avances tecnológicos desarrollados en refrigeración doméstica, que lleven a contar con equipos más eficientes energéticamente, la empresa Indurama no está ajena a esta realidad, ya que mantiene un liderazgo en la producción de equipos de refrigeración doméstica en la zona y en el país, por lo que debe mantener una calidad en sus productos, verificando el buen funcionamiento de los equipos producidos de una manera técnica-científica, para ello la simulación como primer paso, permite validar el diseño y construir un prototipo virtual, previo la fabricación del prototipo físico, luego se deberá hacer las pruebas correspondientes y en base a ello los ajustes necesarios para llegar a tener el producto terminado.

Dada la situación económica actual del país, ha provocado que la empresa Indurama se encuentre en una recesión que ha provocado sobretodo una reducción en la producción con sus correspondientes consecuencias, por este motivo es fundamental optimizar los gastos operativos, por lo que el costo de un prototipo virtual será mucho menor que el costo de un prototipo físico. Además mediante la simulación se podrá diagnosticar el estado actual del cobertor del enfriador y de esa manera establecer propuestas para su optimización, lo que representará una disminución de tiempos en la etapa de diseño y desarrollo de prototipos, llevados adelante por el Departamento de Diseño y Desarrollo de la Empresa Indurama.

La simulación, también proporcionará datos precisos del tamaño del cobertor en general, luego de desarrollar algunas pruebas y ajustes con el prototipo virtual, logrando así evitar gastos innecesarios en modificaciones de moldes de inyección y extensiones de tiempos de salida de los proyectos, es decir una vez simulado y validado el prototipo, se realiza la construcción de moldes definitivos de inyección y su troquelaría correspondiente.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de simulación numérica del flujo de aire y transferencia de calor del cobertor de un enfriador vertical con puerta panorámica, basado en el método de elementos finitos (MEF).

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar las características mecánicas y físicas del cobertor del enfriador vertical de puerta panorámica y hacer un levantamiento CAD del modelo.
2. Elaborar el modelo de simulación numérica del cobertor, utilizando software especializado.
3. Analizar los resultados de simulación.
4. Comparar los resultados numéricos con datos experimentales.
5. Establecer propuestas de mejora en el cobertor.

1.4 ESTADO DEL ARTE

Es importante en primera instancia realizar un análisis de distintos estudios sobre el comportamiento del flujo de aire en refrigeradores domésticos que se han desarrollado en los últimos años.

En este sentido, el trabajo desarrollado por Laguerre (2007), presenta un estudio de la transferencia de calor por convección natural en refrigeradores domésticos sin ventilación, el análisis lo realiza en tres configuraciones distintas, una primera con nevera vacía, una segunda con refrigerador equipado con estantes de vidrio y una tercera con refrigerador lleno de producto. [3].

En la figura 1 se visualiza la estructura de mallado.

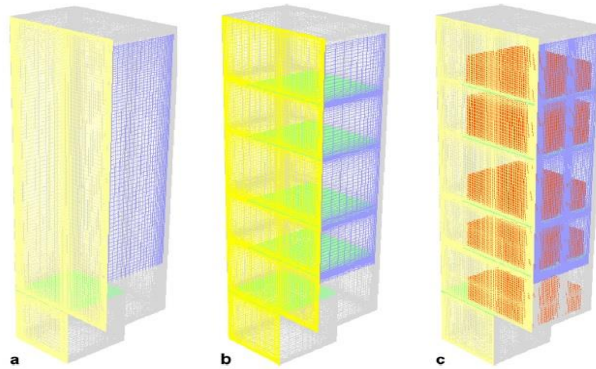


Figura 1. Estructura de Mallado: (a) Refrigerador vacío; (b) Refrigerador con bandejas de vidrio; (c) Refrigerador cargado de producto. Fuente [3].

Este trabajo representa un buen insumo para el estudio que se pretende realizar en esta tesis, el enfoque de mallado de la primera configuración (refrigerador vacío), considera un tiempo de simulación menor, sin embargo garantiza la validación del método de manera experimental. El equipo utilizado es un refrigerador sin ventilador, en el que se considera convección natural.

Las simulaciones se llevaron a cabo utilizando el software CFD (computational fluid dynamic) Fluent 6.1, el cual utiliza volúmenes finitos para el análisis, teniendo en cuenta o no la radiación en la transferencia de calor. Se asumieron las siguientes condiciones: temperatura constante del evaporador, flujo de aire laminar tridireccional. Se puede observar que los resultados experimentales y los resultados de la simulación numérica considerando la radiación tienen una buena similitud y con esto se validaría el método y la simulación, sucede lo contrario con los datos experimentales y la simulación sin considerar la radiación, los resultados no coinciden. Se evidencia una gran diferencia de temperatura, por lo cual los autores no validan el método con esta variante.

Los resultados muestran la estratificación de la temperatura en el compartimento frigorífico (zona caliente en la parte superior y zona fría en la parte inferior). Una comparación de la temperatura calculada del aire y los valores experimentales muestra un buen acuerdo cuando la radiación es considerada. No se observa curvas de convergencia del método.

En un estudio de la distribución de temperaturas y flujo al interior de un refrigerador desarrollado por Corona (2017) utilizan como materiales un refrigerador con sistema no frost, funciona por convección forzada, mediante un ventilador y tiene una capacidad volumétrica de 0,28 m³ además se considera el uso de parrillas de vidrio en el interior [6].

Para el análisis experimental se utilizó 14 termocuplas tipo K con las cuales se obtuvieron los valores de la temperatura en los distintos puntos de refrigerador, estos datos fueron almacenados a través de un interfaz elaborado mediante el software LabVIEW, el tiempo de medición fue de 8 horas de ciclaje térmico, aquí los autores establecen que se estabiliza la temperatura.

Para el análisis en CFD, el pre procesamiento se realiza utilizando la geometría CAD desarrollada con el Software Solid Works y el mallado se ejecuta en el módulo Flow Simulation utilizando 500.000 elementos hexaédricos.

Como resultados en el condensador al asumir temperatura constante, se observa que en la simulación la temperatura es elevada, en el resto del refrigerador se obtienen diferencias de 2.8 °K lo cual es aceptable y se valida el modelo de simulación, pero para futuros trabajos los autores mencionan determinar coeficientes de convección para cada pared, además de la ecuación de la velocidad del ventilador. No se observa curvas de convergencia del método.

En la figura 2 se presenta el perfil de temperaturas en el interior del refrigerador.

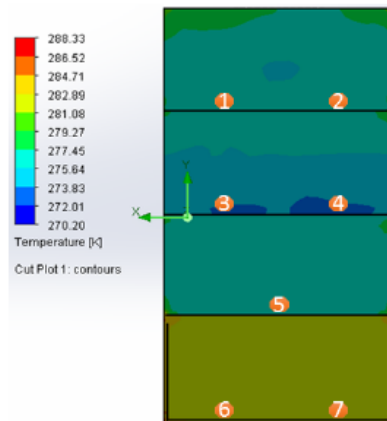


Figura 2. Perfil de temperaturas en el interior del refrigerador Fuente:[6]

Por otro lado en un análisis de Alba Rosano (2015) utiliza como materiales un refrigerador side by side de 25 pies cúbicos.

Como método de análisis utiliza el K-Épsilon para el modelo de turbulencia, se plantea la medición del flujo de aire según normativa GE-ETP-511-B1009, 2005 en diferentes puntos del refrigerador, se colocan termocuplas, las temperaturas en paredes y evaporador, se considera constantes.[7]

Para el análisis el autor utiliza un software ANSYS CFX, se visualiza el mallado, con refinamiento en las salidas del aire.

Como resultados en primera instancia el error obtenido entre la medición del flujo de aire obtenido experimentalmente y simulado está en un 8.9 % siendo el máximo y mínimo del 5%

En cuanto a las temperaturas han determinado una diferencia de 1,32 °K, por lo que validan el método, sin embargo no se representa una gráfica de convergencia del método para estar seguros del mismo. La figura 3 y 4 son referenciales para este trabajo de tesis, ya que se pretende visualizar las líneas de corriente a la salida del cobertor del enfriador vertical y los mapas de velocidades de temperatura y vectores.

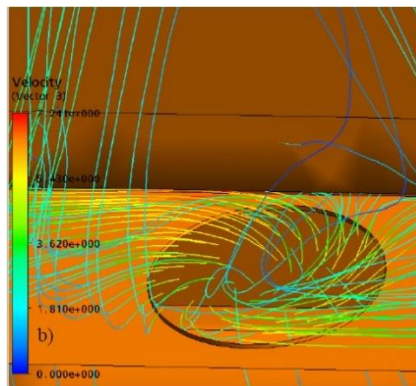


Figura 3. Detalle de las líneas de corriente de la salida del aire de la hélice Fuente:[7]

Se concluye que mediante el pre proceso optimizando la geometría se redujo un 80% el gasto computacional, para este caso al ser una empresa productora de electrodomésticos es beneficioso aplicar esta simulación validada.

En la etapa de prototipos no se tienen prensas de inyección de poliuretano y todavía no se cuenta con prototipos, tener esta simulación con un gabinete virtual reduce la posibilidad de reformar un molde en etapas posteriores.

Se pueden comparar diferentes configuraciones de gabinete de refrigeradoras side by side antes de hacer un molde definitivo.

Después de tener la simulación la podemos validar con los gabinetes actuales, con lo que se contaría con la simulación y la validación experimental y esta herramienta sirve en los nuevos proyectos y mejoras que se realizan en el área de desarrollo de una empresa de línea blanca.

En la figura 4 se presenta los Mapas de velocidades de temperatura y vectores.

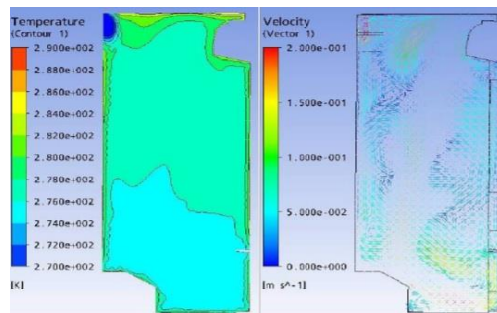


Figura 4. Mapas de velocidades de temperatura y vectores Fuente:[7]

Para otro caso de análisis los autores Alcalá y Ayala (2017) utilizan como materiales, un frigobar con tecnología de refrigeración DAR (Difusión- Absorción) la principal diferencia es que se elimina la válvula de expansión con un refrigerador comercial, el objetivo de este estudio es predecir la temperatura del espacio refrigerado.[8]

El estudio se abordó en dos partes, una experimental y la otra en simulación, para la parte experimental se tomó el centro geométrico del artefacto y se colocaron 9 termopares tipo K, uno en el evaporador y otro exteriormente para medir la temperatura ambiente. Según los ciclos de operación se determinó en 45 horas la temperatura ambiente, la temperatura en el evaporador y la temperatura en el centro geométrico.

En la figura 5 se puede observar las mediciones experimentales de temperaturas respecto al tiempo.

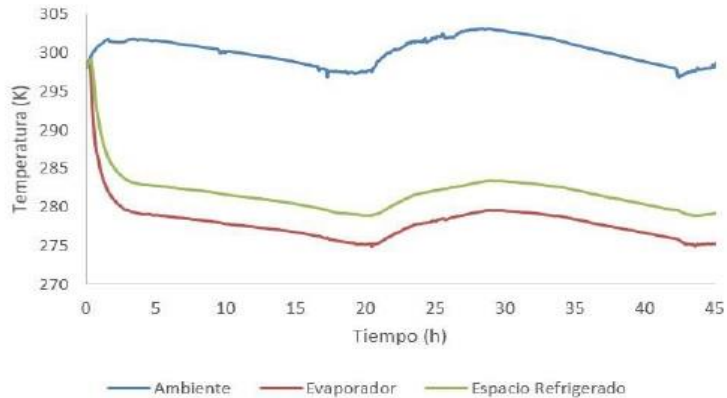


Figura 5. Mediciones experimentales de temperatura con respecto al tiempo. Fuente:[8]

Para la simulación se realizó la geometría en el Software ANSYS- design Modeler, se simplificó la geometría para disminuir el gasto computacional, el volumen de trabajo es $0,04\text{m}^3$, el mallado se consideró de vital importancia ya que de esto dependerá la precisión de los resultados, la malla es hexaédrica con 60900 nodos y 56346 elementos para esto se utilizó el software ANSYS Meshing.

Las simulaciones numéricas se resolvieron en el Software ANSYS Fluent, ya que facilita el análisis de la transferencia de calor, mediante el método de volúmenes finitos, las ecuaciones a solucionar son la de Navier-Stokes y la ecuación de energía para la transferencia de calor por convección, la simulación fue llevada durante 5 horas.

En la figura 6 y 7 se presentan la distribución de velocidades y contorno de temperatura en un plano.

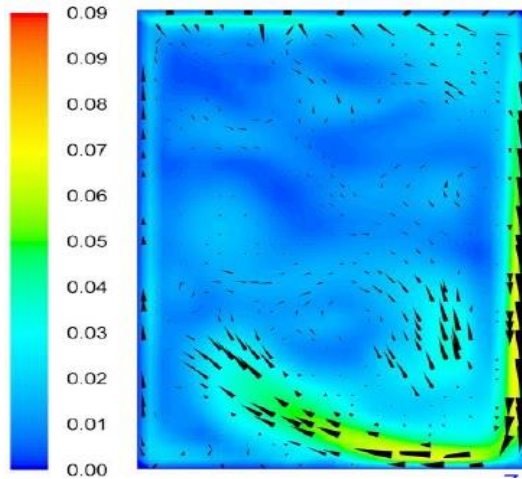


Figura 6. Distribución de Velocidades m/s. Fuente:[8]

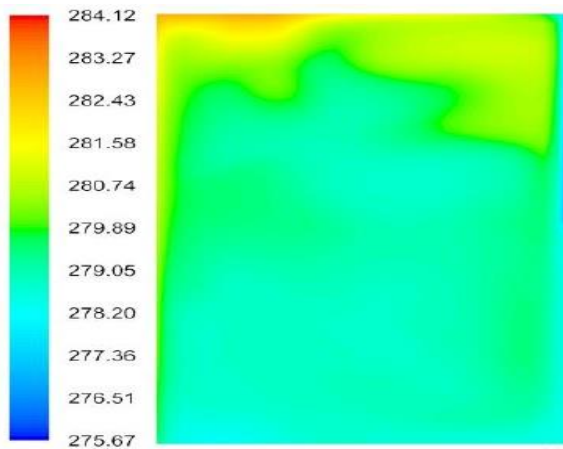


Figura 7. Contorno de Temperatura en un plano medio YZ. Fuente:[8]

El error obtenido de la simulación vs la medición experimental fue del 0,14% con esto los autores validan el método para futuras mejoras de distribución de temperaturas en el diseño del frigobar (ver figura 7).

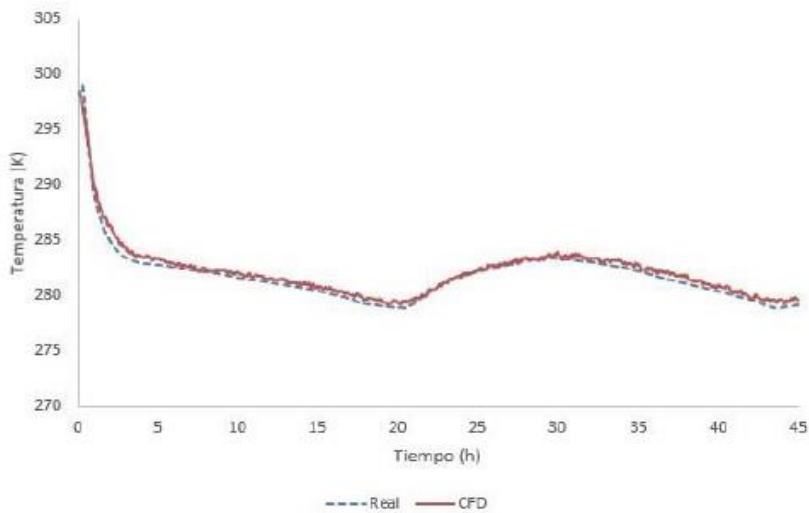


Figura 8. Comparación de resultados para la Temperatura en función del tiempo. Fuente:[8]

Las Figuras 5, 6,7 y 8 sirven como referencia para el estudio planteado en el enfriador vertical ya que disponemos de datos experimentales de laboratorio y pretendemos verificar los mismos mediante la simulación.

Desde otra perspectiva los autores Mejía et. al. (2014) utilizan como materiales un refrigerador no frost de la marca Hacob, la metodología empleada es el uso del software ANSYS Fluent para evaluar la influencia del ventilador en el sistema de refrigeración.[4]

Como parámetros se consideran el volumen del artefacto, el uso de paquetes según norma Colombiana IEC62552, la temperatura del refrigerador se considera -12 °C, las pérdidas de calor se establecen iguales para simplificación del problema, se considera los espesores de poliuretano y las pérdidas producidas por las fugas en el empaque magnético. Representando también datos importantes a ser considerados para el presente análisis del enfriador vertical.

En la figura 9 se presenta la temperatura de los paquetes ensayados.

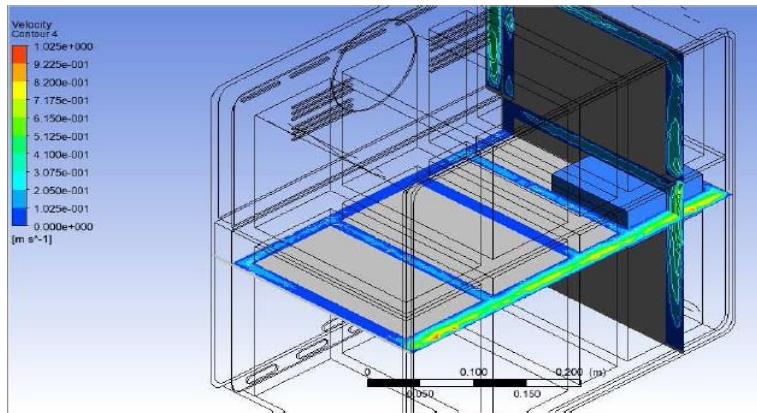


Figura 9. Planos de temperatura de paquete. Fuente:[4]

Se establece la curva característica del ventilador con polinomios que serán ingresados al software previo ajuste de la curva.

Los resultados obtenidos de la simulación establecen que es importante diseñar el interior del refrigerador y las salidas de aire, para este caso el cobertor, para lograr obtener las temperaturas indicadas en las normativas y tener productos altamente eficaces.

Mediante esta simulación se puede evidenciar la utilidad del software y realizar prototipos virtuales y físicos para las respectivas comprobaciones normativas, con esto se optimizan tiempos en un proyecto.

CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL COBERTOR DEL ENFRIADOR VERTICAL DE PUERTA PANORAMICA Y LEVANTAMIENTO CAD DEL MODELO

2.1 Características Físicas del Cobertor

2.1.1 Material

El material para el cobertor que se utiliza es el poliestireno de alto impacto que pertenece al grupo de los poliestirenos. Dada su composición química éste material es un polímero frágil a la temperatura ambiente, se modifica mediante la inclusión de polibutadieno, de la proporción de este aditivo dependen en gran parte las características del mismo[9], lo que mejora su resistencia al impacto.

En la industria comúnmente se lo conoce como HIPS (High Impact Polystyrene) o PSAI (Poliestireno de Alto Impacto.)

En la empresa Indurama el uso de este Poliestireno data desde el año 1990, en la actualidad el proveedor es Americas Styrenics con el nombre comercial de producto Styron A-Tech 1175, en la tabla 1.1 se detalla características del material proporcionadas por el proveedor.

Tabla 1.1 Propiedades Físicas del Styron A-Tech 1175 [10]

Propiedades Físicas	Sistema Internacional		Método ASTM
	Valor	Unidades	Valor
<i>Índice de Fluidéz</i>	2.8	g/10 min	D-1238
<i>Gravedad específica</i>	1.03		D-792
<i>Expansión Térmica Lineal</i>	9	cm/cm/°C	D-696
<i>Contracción en el molde (0,001)</i>	4 a 8	cm/cm	D-955

2.2 Características Mecánicas

El material debe cumplir con las especificaciones de ficha técnica de Indurama, la misma que especifica el cumplimiento según la Norma ASTM dependiendo el ensayo mecánico. Se detalla características del material.

En la tabla 1.2 y 1.3 se presentan las propiedades Mecánicas y Térmicas del Styron A-Tech 1175

Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas del Styron A-Tech 1175 [10]

Propiedades Mecánicas de Moldeo por Inyección	Sistema Internacional		Método ASTM
	Valor	Unidades	Valor
<i>Resistencia a la Tensión</i>	14	MPa	D-638
<i>Resistencia Final a la Tensión</i>	23	MPa	D-638
<i>Elongación</i>	65	%	D-638
<i>Módulo de Tensión</i>	1380	MPa	D-638
<i>Resistencia a la Flexión</i>	27	MPa	D-790
<i>Módulo de Flexión</i>	1350	MPa	D-790
<i>Impacto IZOD @ 23°C</i>	95	J/m	D-256

Tabla 1.3 Propiedades Térmicas del Styron A-Tech 1175 [10]

Propiedades Térmicas	Sistema Internacional		Método ASTM
	Valor	Unidades	Valor
<i>Temperatura de Deflexión Bajo Carga</i>			
<i>@ 264 psi</i>	75.5	°C	D-648
<i>@ 66 psi</i>	85.5	°C	D-648
<i>Temperatura de Ablandamiento VICAT</i>	99	°C	D-648

2.3 Proceso de Fabricación del Cobertor

El cobertor se obtiene mediante la técnica de termoformado, en donde se moldea una lámina [11] y se le da la forma mediante calor y vacío, utilizando un molde, en este caso tenemos un molde de aluminio el cual tiene la forma definida del cobertor.

Es importante definir el rango de temperatura del proceso para la extrusión [12] del poliestireno de alto impacto, proceso que en la empresa por los años de experiencia se lo tiene optimizado.

2.3.1 Preparación de la Lámina

Mediante pruebas y ensayos experimentales se determina las dimensiones de la lámina de Poliestireno de alto impacto para este caso son 1400x580x2 mm, también depende el diseño del molde, para este caso es de 2 cavidades dadas las prestaciones de la máquina termoformadora. En la figura 10 se puede observar la lámina de poliestireno de Alto impacto PAI.



Figura 10. Lámina De Poliestireno de Alto Impacto PAI 1400x580x2mm. Fuente: Autor

Luego de revisar los parámetros de calidad se coloca la lámina en la parte inferior de la termoformadora, como se puede observar en la figura 11.



Figura 11. Cargado de Lámina en Termoformadora. Fuente: Autor

Como se puede ver en la figura 12, en la parte superior está el molde de aluminio de dos cavidades con la forma del cobertor.



Figura 12. Molde de aluminio montado en Termoformadora. Fuente: Autor

Se procede a Termoformar, obteniendo de esta manera dos cobertores por proceso. Luego se separa los cobertores y se troquelan las salidas de aire, dejándolo listo para su colocación en la línea de ensamble (ver figura 13).



Figura 13. Cobertor Termoformado. Fuente: Autor

El proceso final consiste en el troquelado de las salidas de flujo de aire (ver figura 14).



Figura 14. Cobertor Troquelado. Fuente: Autor

2.4 Funciones del cobertor

El cobertor del enfriador vertical VFV 400 cumple las siguientes funciones:

- Posee las salidas para flujos de aire
- Permite la sujeción del ventilador
- Permite la sujeción del control de temperatura

2.5 Levantamiento CAD del cobertor

Para realizar el levantamiento CAD del cobertor se utiliza el Software para diseño INVENTOR, el cual facilita la construcción de los ensambles y subensambles en 3D. En la figura 15 se puede observar el diseño del cobertor.



Figura 15. Cobertor visto de frente. Fuente: Autor

Luego de este levantamiento CAD se procede con el ensamble del enfriador vertical y sus componentes.

2.5.1 Cajón del Enfriador Vertical

En la figura 16 se puede observar el cajón del enfriador vertical dibujado en el Software Inventor.

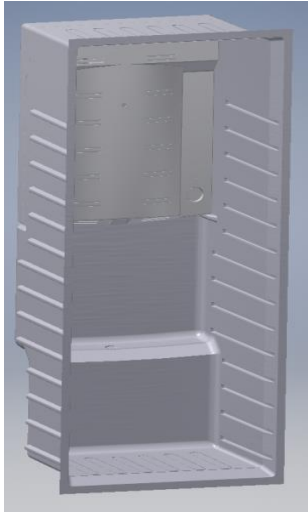


Figura 16. *Cajón. Fuente: Autor*

2.5.2 Enfriador Vertical completo en CAD.

En la figura 17 se puede observar el Enfriador Vertical modelo VFV 400 con puerta panorámica, con capacidad de 314 litros, al que en este estudio se analizara los flujos de aire y transferencia de calor. Las dimensiones son 62cm de ancho, 152 cm de alto y 67 cm de profundidad.



Figura 17. *Enfriador vertical dibujado en Inventor. Fuente: Autor*

2.5.3 Enfriador Vertical completo de producción.

En la figura 18 se puede observar un enfriador vertical de producción.



Figura 18.*Enfriador vertical real. Fuente: Autor*

CAPITULO 3: ELABORAR EL MODELO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COBERTOR UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO (PREPROCESAMIENTO).

3.1 Diseño del Conjunto de Simulación para el enfriador Vertical

3.1.1 Creación de una geometría Tridimensional

Es indispensable diferenciar que una situación es diseñar los elementos para inyección de moldes del enfriador vertical y otra muy distinta es el diseño o preparación (preproceso) para realizar la simulación numérica mediante elementos finitos. Es decir tenemos el CAD de fabricación de molde vs el CAD para realizar una simulación numérica.

3.1.2 Simplificaciones del modelo CAD

Para ello se tiene que realizar algunas simplificaciones geométricas de nuestro modelo CAD inicial, el cual lo realizamos en el software INVENTOR, de esta manera poder optimizar el gasto computacional. A continuación se detallan las simplificaciones:

- Todos los noyos del cajón, los asumimos como elementos rectos (ver figura 19).

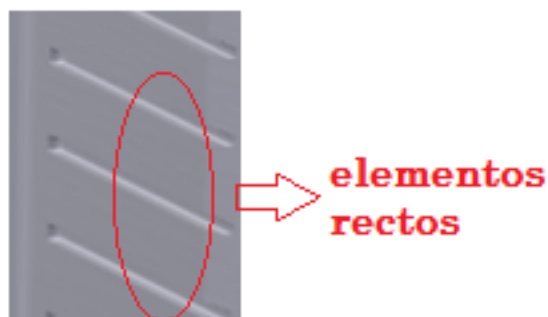


Figura 19. Noyos del cajón. Fuente: Autor

- Se debe trabajar con el volumen interno del modelo, para poder evitar el excesivo gasto computacional, no se consideran los retornos.
- No se consideran las parrillas del interior del enfriador, para disminuir el gasto computacional.
- Mediante el comando Shell conduction de Ansys podemos dar las propiedades a cada elemento, como vidrio de baja emisividad, aislante térmico como la espuma de poliuretano, Poliestireno de alto impacto, convección. Ya no es necesario tener la representación gráfica de estos elementos, ayudándonos a evitar el gasto computacional.

3.1.3 Esquema CAD para preproceso

La figura 20 representa el modelo CAD simplificado para realizar la simulación.

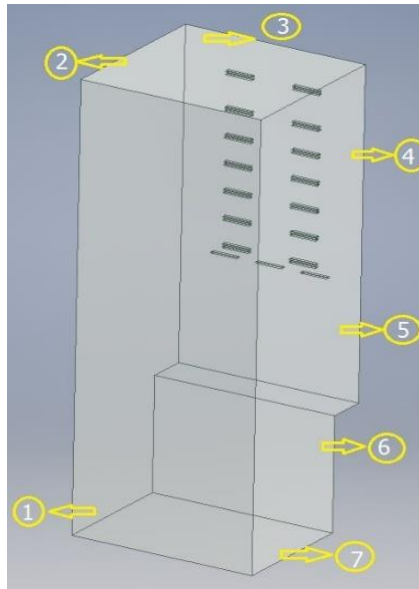


Figura 20. Esquema CAD del Enfriador Vertical. Fuente: Autor

En la figura 20 se pueden distinguir las siguientes partes del modelo CAD simplificado para realizar el pre proceso. A continuación se detalla cada denominación:

1. Superficie frontal
2. Superficie lateral izquierda

3. Superficie superior
4. Superficie Posterior
5. Superficie lateral derecha
6. Superficie posterior(cavidad del compresor)
7. Superficie inferior

3.2 Elección de Software

En el análisis del estado del arte se pudo notar que el software ANSYS fue utilizado en cada uno de los trabajos desarrollados, además de verificar su potencialidad y precisión en los resultados obtenidos, además considerando que la Universidad Politécnica Salesiana posee licencia del software ANSYS, se ha decidido utilizar esta herramienta para el análisis del cobertor, empleando específicamente el módulo FLUENT.

3.3 Discretizacion Espacial

Parte fundamental de una simulación es el mallado, para ello se trabaja con una calidad de malla del 85%, y una relevancia del 100%, a continuación en la figura 21 se detalla todas las características obtenidas en el software:

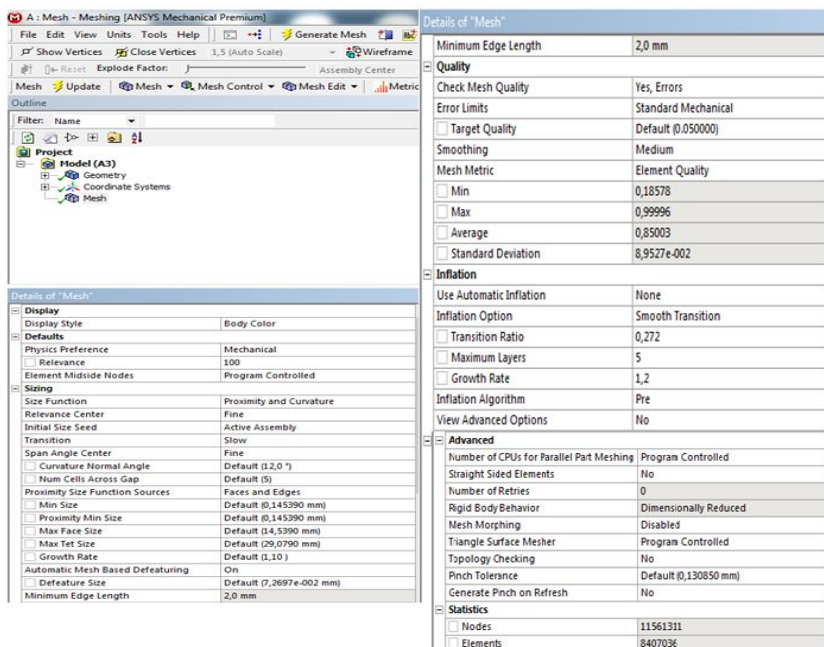


Figura 21. Detalle de Mallado en Ansys. Fuente: Autor

En la figura 22 se muestra el mallado final de nuestro enfriador vertical, en las figura 14 y 15 se muestra el refinamiento que se realizó ya que son las salidas del aire y consideramos que en estas secciones necesitaban tal condición.

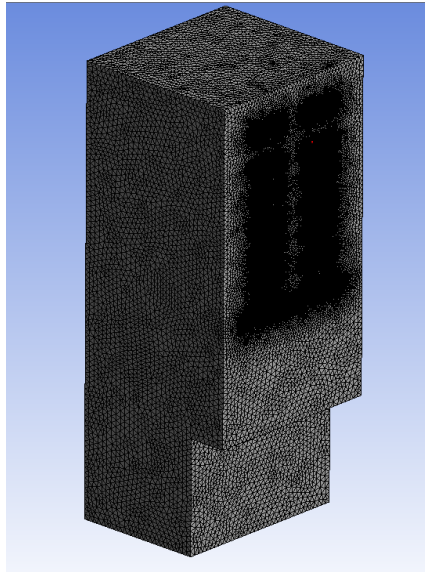


Figura 22.Detalle de Mallado. Fuente: Autor

En la figura 23 se detalla el refinamiento de malla en el cobertor.

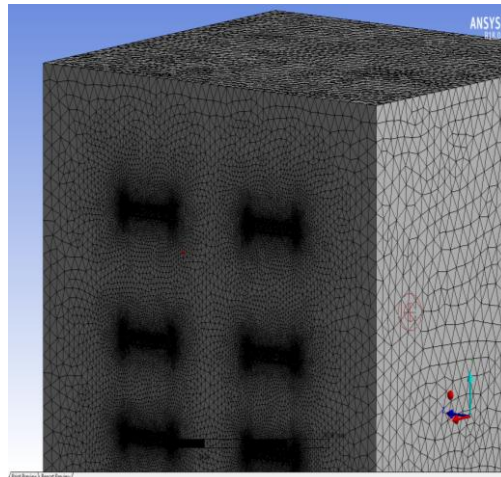


Figura 23.Detalle de Mallado posterior. Fuente: Autor

En la figura 24 se detalla las salidas de flujo de aire

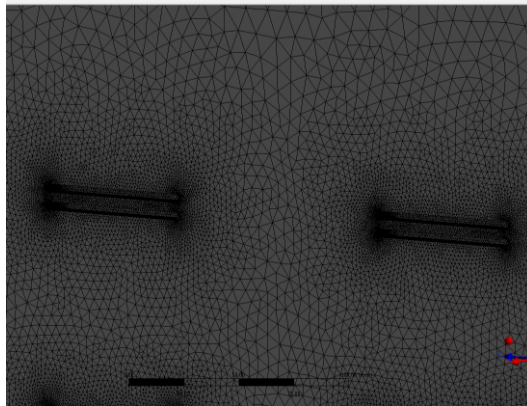


Figura 24.Detalle de Mallado de salidas de flujo de aire. Fuente: Autor

3.4 Condiciones iniciales y de Contorno

Se establece las condiciones necesarias para cumplir con el proceso de configuración en el software, luego se define las entradas de aire (Inlet) y las salidas del aire (Outlet).

En la figura 25 se visualiza los componentes de las paredes del enfriador vertical, desde la parte exterior lo conforma un acero pre pintado blanco de 0.5mm, luego una pared de poliuretano de 8cm, finalmente una pared de Poliestireno de Alto impacto de 2mm, conformando el circuito térmico de las paredes, asumimos una convección natural del ambiente exterior.

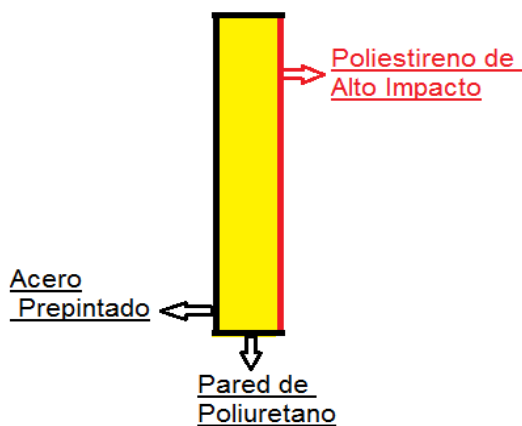


Figura 25.Circuito Térmico de las paredes del Enfriador Vertical. Fuente: Autor

Todo este circuito térmico se lo puede simplificar en el Software Ansys es decir ya no es necesario el dibujo 3D de cada elemento, mediante el comando Shell Conduction, en el cual damos las propiedades de cada material y con esto evitamos el excesivo gasto computacional.

En la figura 26 se puede observar las condiciones impuestas para la simulación, en la parte frontal del enfriador, misma que es de vidrio de baja emisividad, lo conforma un circuito térmico de una pared de vidrio de baja emisividad, un espacio de gas argón y otra pared de vidrio de baja emisividad.

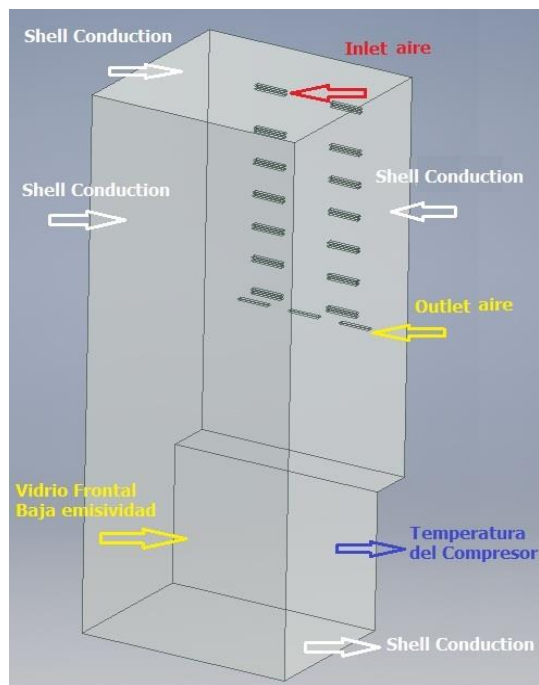


Figura 26. Condicones para la Simulación. Fuente: Autor

Para determinar la velocidad del flujo a las salidas del cobertor se utiliza un anemómetro, este procedimiento se lo aplica en cada salida, en tres posiciones (extremos y centro) con el promedio de las mediciones establecimos la velocidad de salida, en la figura 27 se puede observar la utilización del anemómetro para medir la velocidad del flujo de aire. La temperatura ambiente de 20°C y Humedad Relativa del 50% que son parámetros del laboratorio de refrigeración, visibles en cada estación.



Figura 27. Medición de flujos de aire. Fuente: Autor

En la tabla 1.4 se detallan las velocidades promedio obtenidas de la medición, datos que en lo posterior son utilizados para configurar en el software.

Tabla 1.4 Velocidad de Ductos [Fuente: Autor]

<i>Velocidad medida en los ductos del Cobertor expresado en m/s</i>				
	Velocidad extremo izquierdo	Velocidad en el centro	Velocidad extremo derecho	Velocidad Promedio
Salida 1	3,75	3,4	1,39	2,85
Salida 2	1,3	3,1	3,5	2,63
Salida 3	3,82	3,12	1,09	2,68
Salida 4	1,5	3,3	3,9	2,90
Salida 5	2,5	2,5	2,3	2,43
Salida 6	3,1	4	2,5	3,20
Salida 7	3	2,9	3,08	2,99
Salida 8	3,4	3,7	2,5	3,20
Salida 9	2,9	2,7	3,13	2,91
Salida 10	2,6	2,3	2	2,30
Salida 11	2,7	3,3	3,07	3,02
Salida 12	2,7	1,8	1,9	2,13
Salida 13	3,1	2,9	3,3	3,10
Salida 14	0,5	0,9	1	0,80

Salida 15	3,2	3,4	3,38	3,33
Salida 16	1,13	0,6	0,8	0,84
Salida 17	3,3	3,3	2,9	3,17
Salida 18	1,5	2,04	2,3	1,95
Salida 19	3,2	3,46	3,1	3,25
Salida 20	1,9	2,4	2,6	2,30
Salida 21	3,06	3,5	3,4	3,32
Salida 22	3	3,2	3,3	3,17
Salida 23	3,5	2,8	3,3	3,20
Salida 24	3,3	3,4	3,4	3,37
Salida 25	3,44	3	2,9	3,11
Salida 26	3,6	3,5	3,6	3,57
Salida 27	3,1	3	2,8	2,97
Salida 28	3	3,7	3,8	3,50
Retorno 1	-1,6	-1,5	-2,2	-1,77
Retorno 2	-1,7	-1,4	-2	-1,70
Retorno 3	-1,8	-1,6	-1,4	-1,60

En la figura 28, se visualiza la localización para configurar las velocidades en el Software Ansys.

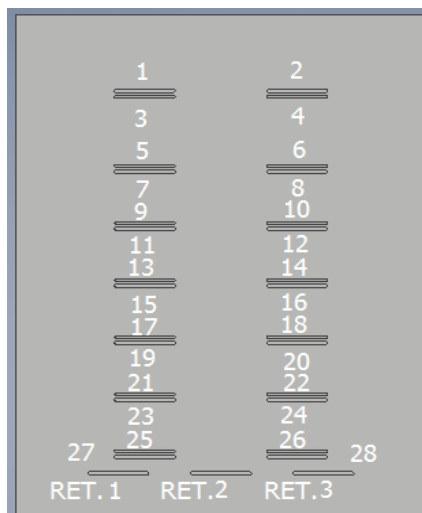


Figura 28. Posición de flujos de aire. Fuente: Autor

3.5 Desarrollo del Modelo Matemático

3.5.1 Modelo de Turbulencia

Para el estudio se establece el modelo de Turbulencia RANS (Reynolds- averaged Navier-Stokes equations) ya que ha sido validado para aplicaciones industriales y de ingeniería por su alto desempeño en flujos confinados.

Ventajas:

- Toda la turbulencia es modelada
- Resuelve las ecuaciones Navier-Stokes promediadas en el tiempo
- Para la mayoría de los problemas, el tiempo promedio y nivel de turbulencia de flujo es todo lo que se necesita
- Este es el enfoque más utilizado en los flujos industriales

Se cuenta con los modelos basados en RANS:

Modelo de una ecuación: Spalart- Allmaras

Modelo de dos ecuaciones: k-ε familia (Estándar, RGN, Realizable)

k-ω familia (Estándar, BSL, SST)

3.5.2 Ecuaciones de Gobierno

3.5.2.1 Modelo RANS Promediado

Después de descomponer la velocidad en partes medias e instantáneas y calcular el tiempo, las ecuaciones de Navier Stokes instantáneas pueden ser reescritas como las ecuaciones de Navier Stokes (RANS) promediadas por Reynolds

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_k \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

Donde

$$\partial R_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} \text{ Tensor de esfuerzos de Reynolds} \quad (2)$$

Las tensiones de Reynolds son incógnitas adicionales introducidas por el procedimiento de promediado, por lo tanto deben ser modeladas (relacionadas con las

cantidades de caudal promedio) para cerrar el sistema de ecuaciones de gobierno, en total son 6 incógnitas

$$R_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = \begin{pmatrix} -\overline{\rho u'^2} & -\overline{\rho u' v'} & -\overline{\rho u' w'} \\ -\overline{\rho u' v'} & -\overline{\rho v'^2} & -\overline{\rho v' w'} \\ -\overline{\rho u' w'} & -\overline{\rho v' w'} & -\overline{\rho w'^2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Tomamos como referencia un punto (x,y,z) el cambio del flujo masico que atraviesa la cara del elemento por donde pasa el fluido, viene dado por el producto de la densidad,area y la velocidad normal a la cara.

En la figura se puede observar el cambio neto del flujo masico

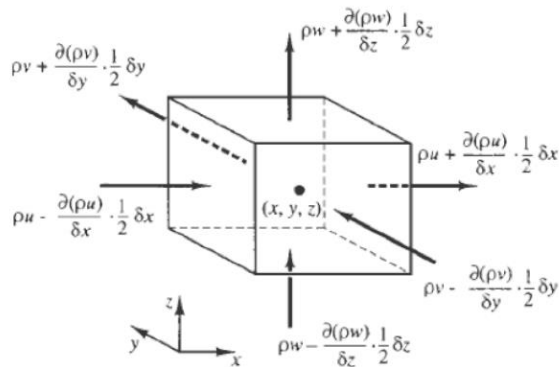


Figura 29. Flujo másico que entra y sale de un elemento en 3 dimensiones. Fuente: [17]

Donde obtenemos:

(4)

$$\begin{aligned} & \left(\rho_u - \frac{\partial(\rho_u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho_u + \frac{\partial(\rho_u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left(\rho_v - \frac{\partial(\rho_v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho_v + \frac{\partial(\rho_v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left(\rho_w - \frac{\partial(\rho_w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho_w + \frac{\partial(\rho_w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned}$$

La ecuación de la energía es aquella que describe el transporte de la energía a través de un fluido y los efectos que este produce.

Tasa de variación de la energía en una Partícula fluida es igual a la suma de la Tasa neta del calor adicionado a una partícula fluida más la Tasa neta de trabajo realizado sobre una partícula fluida

La tasa de incremento de energía de una partícula por unidad de volumen está dado por: (5)

$$\rho \frac{DE}{Dt}$$

Se detalla la Ecuación de la Energía utilizada: (6)

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \operatorname{div} u + \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + \phi + S_i$$

Se escoge un modelo basado en 2 ecuaciones para el caso de k-ε ya que es ampliamente validado y utilizado además de presentar un excelente desempeño en aplicaciones industriales [13].

Además el modelo k-ε, tiene la ventaja de resolver los problemas en menor tiempo computacional [14].

Para nuestro estudio específico en la industria de línea blanca el modelo de la Familia (Realizable) al tener recirculación de aire y flujo forzado, para nuestro caso el que es producido por el ventilador, tiene un rendimiento superior al k-ε estándar, además que se demuestra una capacidad superior para capturar el flujo medio de las estructuras turbulentas con un alto grado de complejidad [15]

En función a lo investigado, para el caso de este estudio se elige el modelo de Turbulencia k-ε Realizable.

CAPITULO 4: SIMULACIÓN DE FLUJOS DE AIRE Y CONTORNOS DE TEMPERATURA

En este capítulo se procede al análisis de la simulación, para ello la figura 30 se presenta el comportamiento del flujo de aire figurado en líneas de corriente, aquí se puede observar como el diseño del cobertor influye en los flujos de aire.

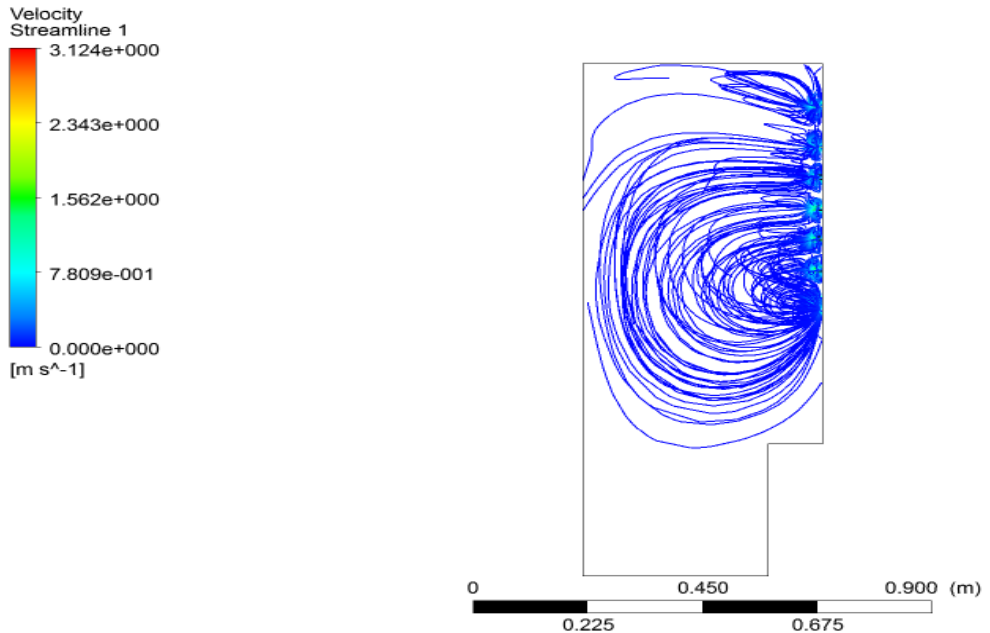


Figura 30. Líneas de corriente de flujo, vista lateral. Fuente: Autor

En la figura 31 se visualiza los flujos de aire desde un plano frontal, mismo que en la práctica no se puede observar con facilidad, para ello se utiliza cámaras de humo con parafinas a fin de que se pueda notar de manera general el comportamiento del flujo de aire, por este motivo el uso de software representa un potencial de mucho beneficio para el diseño del cobertor.

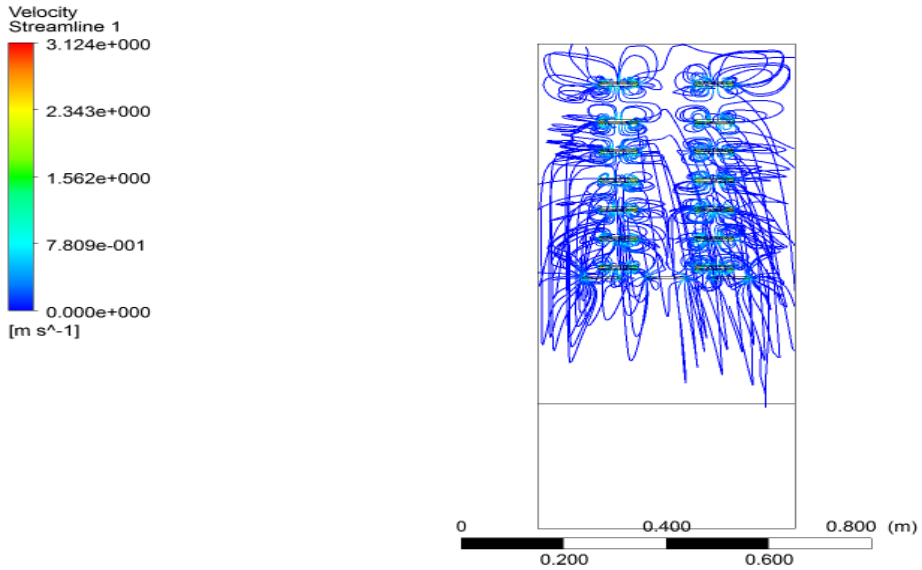


Figura 31. Líneas de corriente de flujo, vista frontal. Fuente: Autor

En la figura 32 observando desde una perspectiva se puede notar que el flujo de aire no llega a todo el enfriador, por lo que será imprescindible establecer una mejora del diseño del cobertor, tema que se analizará en el capítulo 6.

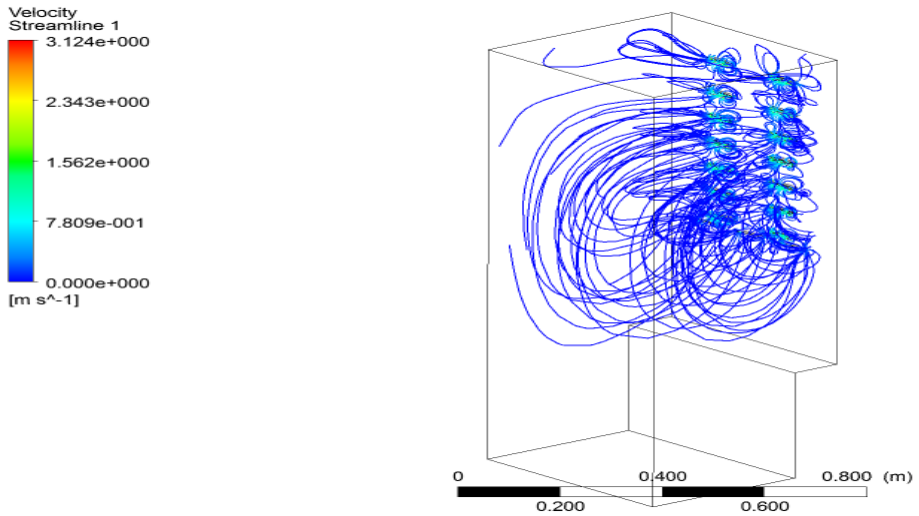


Figura 32. Líneas de corriente de flujo, Perspectiva. Fuente: Autor

Podemos observar además en la figura 33, como el diseño de los troqueles del cobertor influyen en el flujo de aire, ya que se visualiza la forma que adoptan las líneas de corriente, que en la práctica con el artefacto funcionando no es posible visualizar, pero con el software nos permite en esta etapa de prototipo virtual observar todas las consideraciones en el diseño del actual cobertor.

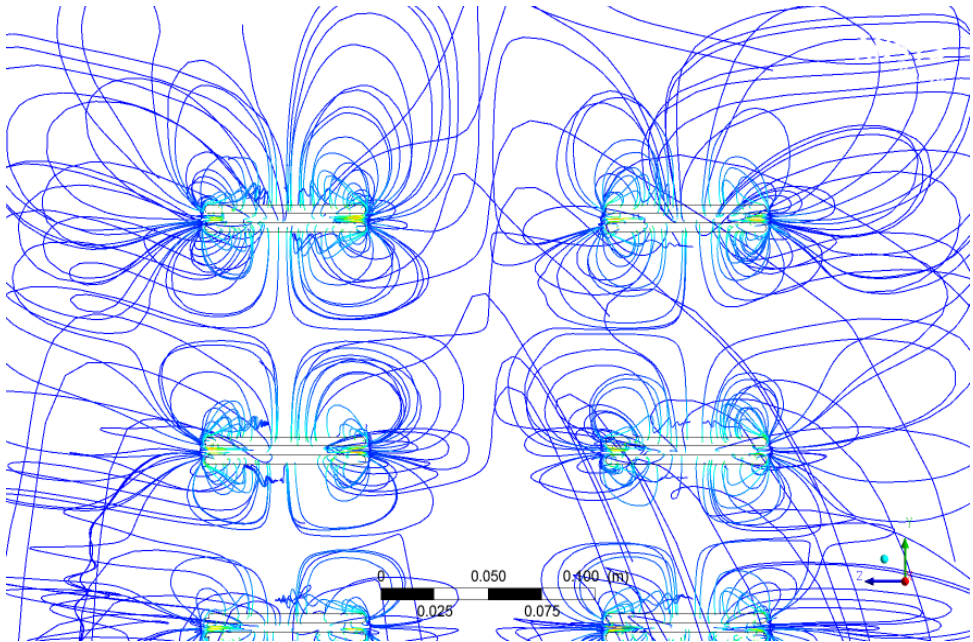


Figura 33. Troqueles de cobertor para flujos de aire. Fuente: Autor

Con la necesidad de comparar los datos obtenidos a través de la de simulación y los datos experimentales, se estableció la necesidad de medir la temperatura en el centro geométrico del artefacto según la norma Mexicana NOM-022-ENER/SCFI 2008, la cual se establecerá su determinación en el siguiente capítulo, para ello la figura 34 nos permite visualizar los contornos de temperatura.

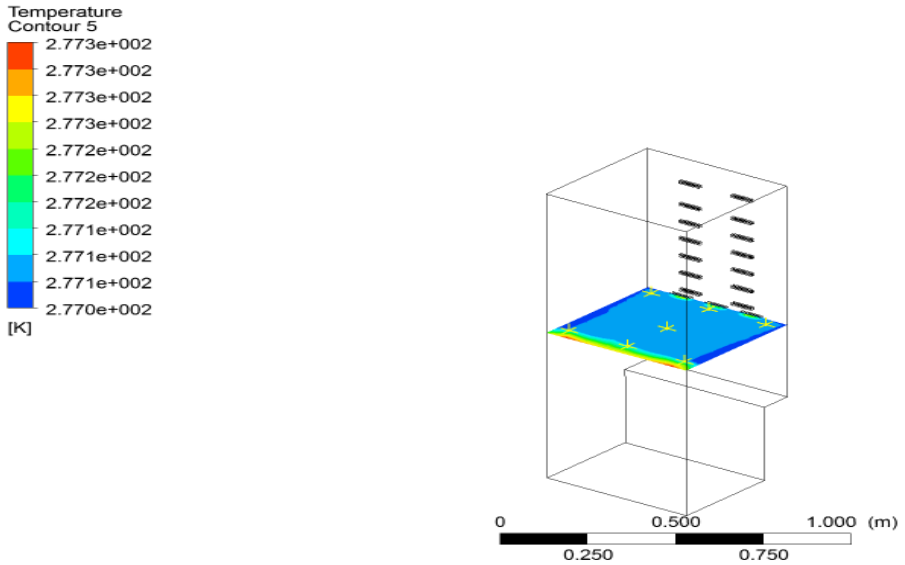


Figura 34. Plano de Temperatura en el centro Geométrico del artefacto. Fuente: Autor

En la figura 35 se observa el plano de temperaturas de contorno, en el cual se ha hemos decidido realizar 7 puntos de medición, los cuales se replicaran, para poder compararlos con datos reales la prueba de laboratorio.

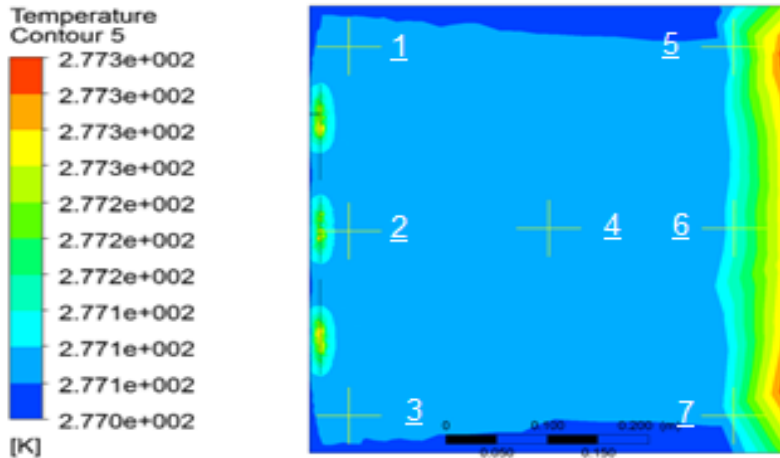


Figura 35. Puntos de medición de temperatura en el plano del centro geométrico. Fuente: Autor

A continuación se detalla las temperaturas obtenidas:

Tabla 1.5 Temperaturas de simulación [Fuente: Autor]

TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA SIMULACION	
Posición 1	277,18°K = 4,03°C
Posición 2	277,15°K = 4°C
Posición 3	277,12°K = 3,97°C
Posición 4	277,10°K = 3,95°C
Posición 5	277,30°K = 4,15°C
Posición 6	277,20°K = 4,05°C
Posición 7	277,25°K = 4,1°C

En la figura 36 se puede observar el flujo de calor de las paredes compuestas por varias capas, entre ellas se puede diferenciar láminas de acero, aislamiento de poliuretano y poliestireno de alto impacto.

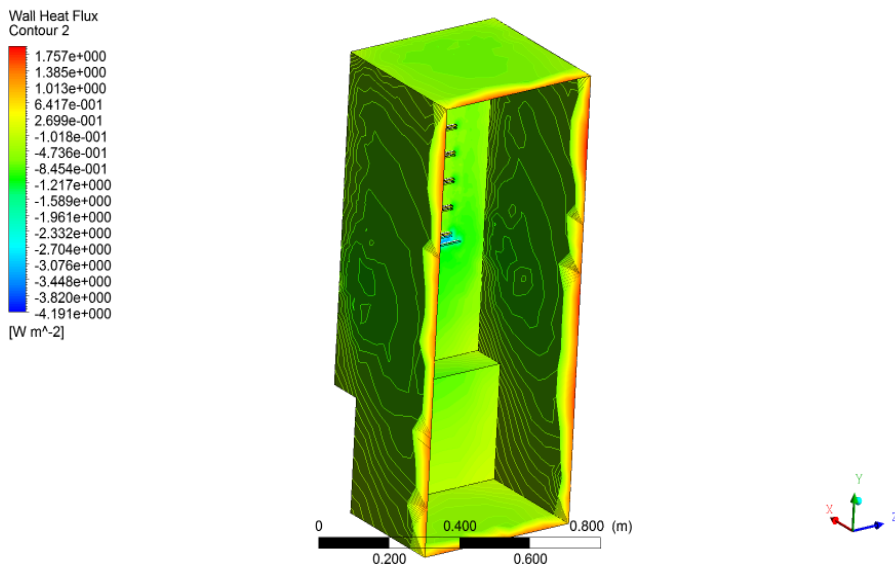


Figura 36. Flujo de calor de las paredes. Fuente: Autor

En la figura 37 se puede observar el flujo de calor de la puerta panorámica de vidrio del enfriador.

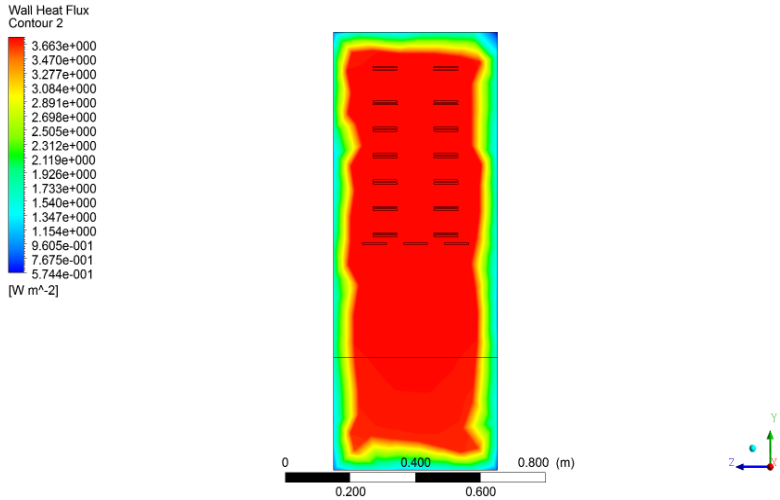


Figura 37. Flujo de calor de la puerta de vidrio. Fuente: Autor

Haciendo una comparación entre las figuras 36 y 37, se puede observar la diferencia del flujo de calor existente entre los materiales, por lo que se concluye con la validez de la simulación desarrollada.

En la figura 38 se visualiza el coeficiente de transferencia de calor de la pared de la puerta de vidrio.

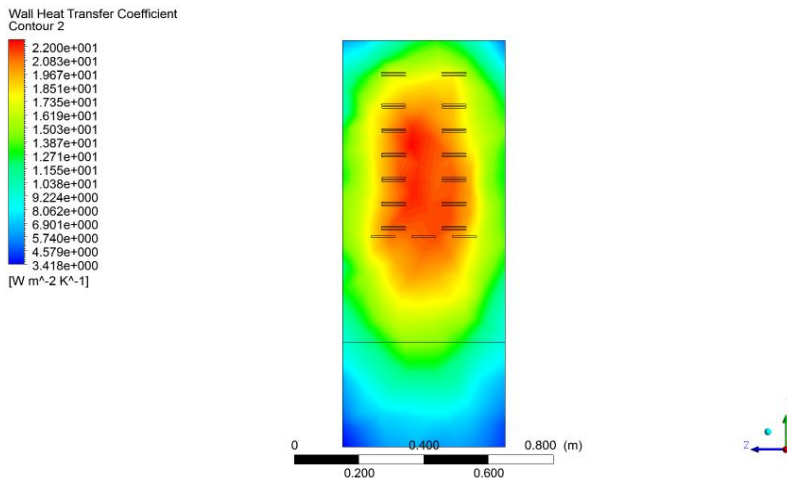


Figura 38. Coeficiente de transferencia de calor de la pared de la puerta de vidrio. Fuente: Autor

En la figura 39 se visualiza el coeficiente de transferencia de calor de las paredes compuestas por: lamina de acero, poliuretano y poliestireno de alto impacto.

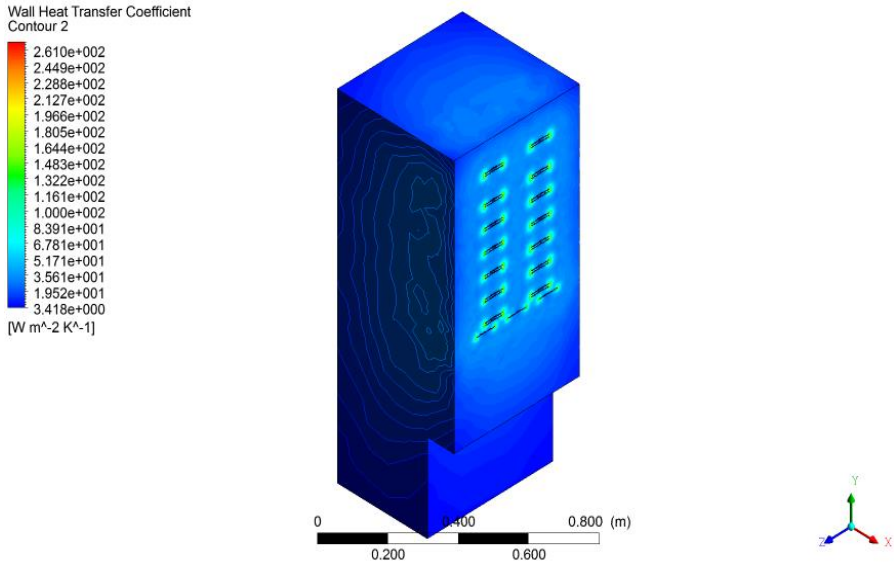


Figura 39. Coeficiente de transferencia de calor de las paredes. Fuente: Autor

En la figura 40 se observa los valores de la Turbulence Eddy Dissipation para la puerta de vidrio del enfriador.

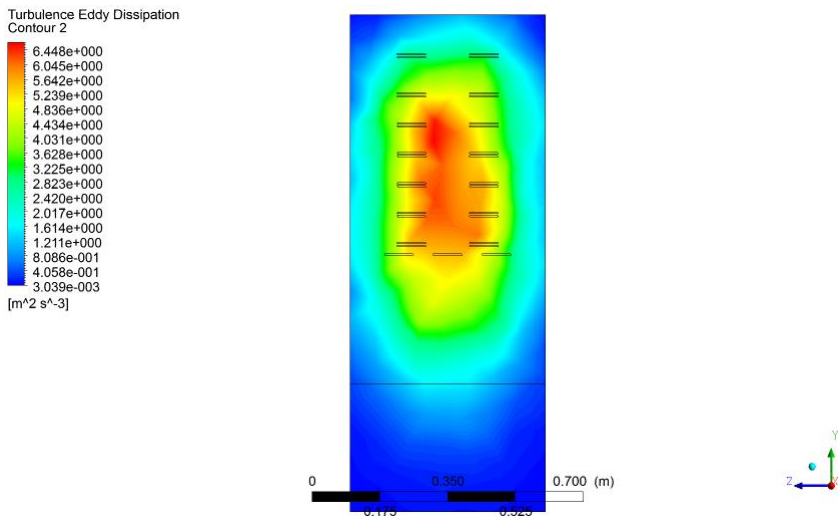


Figura 40. Turbulence Eddy Dissipation de la puerta de vidrio. Fuente: Autor

En la figura 41 se observa los valores de la Turbulence Eddy Dissipation para las paredes compuestas por: lamina de acero, poliuretano, poliestireno de alto impacto.

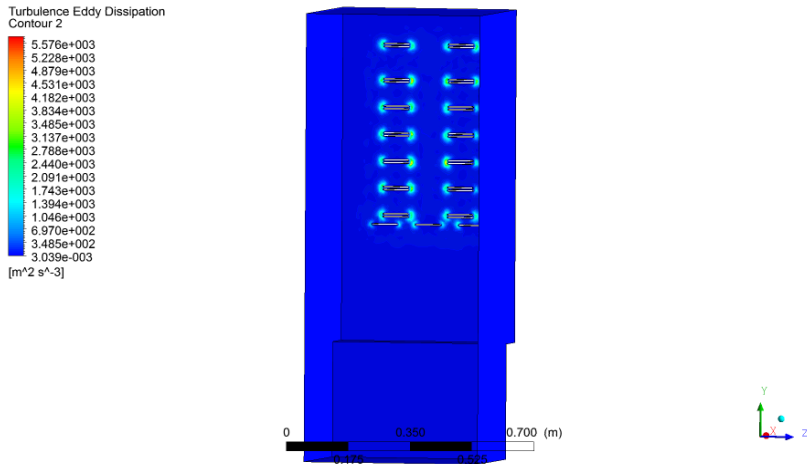


Figura 41. Turbulence Eddy Dissipation de las paredes. Fuente: Autor

En las figuras 40 y 41 se puede observar las diferencias entre materiales y por ende los valores de este indicador de turbulencia en el modelo Épsilon desarrollado.

En la figura 42 se observa la energía cinética de Turbulencia (TKE) las paredes compuestas por: lamina de acero, poliuretano, poliestireno de alto impacto.

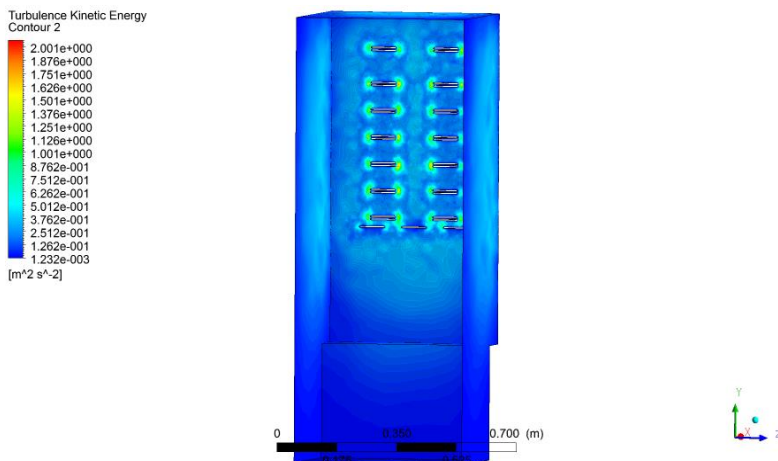


Figura 42. Energía cinética de Turbulencia de las paredes. Fuente: Autor

En la figura 43 se observa la energía cinética de Turbulencia (TKE) para la puerta de vidrio.

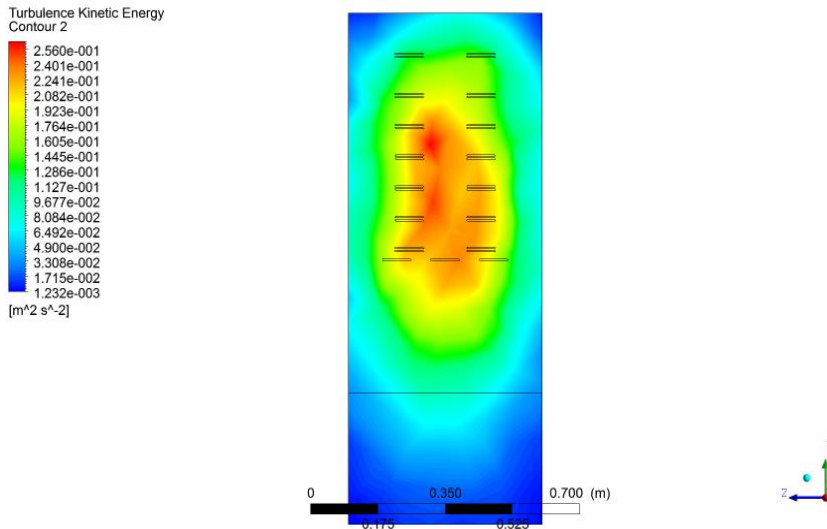


Figura 43. Energía cinética de Turbulencia de la puerta de Vidrio. Fuente: Autor

En las figuras 42 y 43 se visualizan las diferencias de resultados debido al cambio de materiales entre las mismas, es importante recalcar que en el anterior capítulo se escogió las ecuaciones de Navier Stokes promediadas por Reynolds para el modelado matemático, en este sentido se calcula la energía cinética de la turbulencia con el método de cierre (modelo de turbulencia).

Parte importante de esta simulación es garantizar que el método este bien solucionado, el criterio utilizado mundialmente es el criterio de convergencia del método. En este caso la figura 44 muestra la convergencia del método, donde podemos garantizar la eficacia de esta simulación como de sus resultados numéricos.

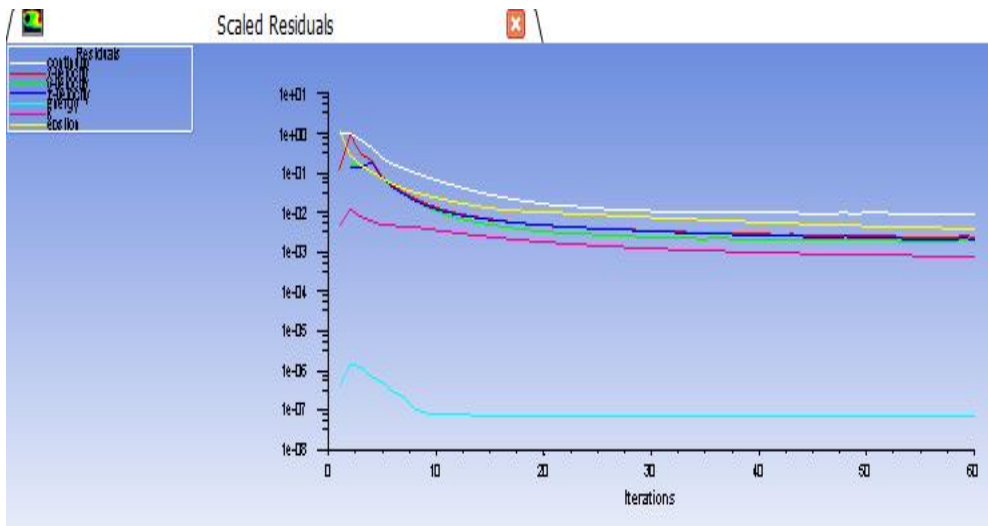


Figura 44. Convergencia del método. Fuente: Autor

CAPITULO 5: VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN MEDIANTE DATOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO.

Para la validación de los resultados numéricos obtenidos en la simulación, se requiere hacer comparaciones directas con los resultados que se pueden obtener en la experimentación de laboratorio, para ello se requieren los siguientes insumos necesarios para las pruebas, como se mencionan a continuación:

- Artefacto Enfriador vertical VFV 400
- Termocuplas
- Laboratorio de Refrigeración
- Software de monitoreo y adquisición de datos TI-33Ri plus
- Norma Mexicana NOM-022-ENER/SCFI 2013.

Se colocan las termocuplas en el centro geométrico del artefacto, en la figura 45 se pueden observar las 7 termocuplas.



Figura 45. Termocuplas colocadas en el centro geométrico Fuente: Autor

El esquema del orden de las termocuplas es el siguiente detallado en la figura 46:

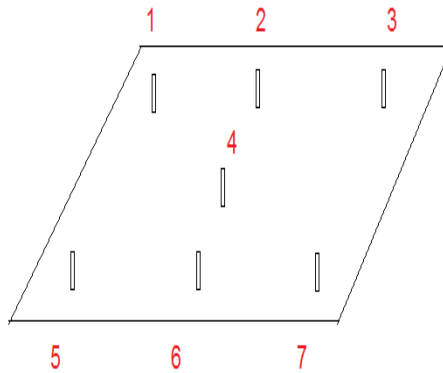


Figura 46. Esquema de Termocuplas. Fuente: Autor

En el capítulo anterior en la figura 35 se puede observar el mismo orden de los puntos de medición de temperatura, de esta manera coincide la simulación y la prueba de laboratorio.

En la figura 47 se puede observar el artefacto en óptimas condiciones de instrumentación para ser evaluado en laboratorio.



Figura 47.Artefacto VFV 400. Fuente: Autor

El laboratorio posee un software para el monitoreo y medición de los datos, este software al interior de la empresa se denomina TI-33Ri. En la figura 48 se puede observar el interface general para la realización de las pruebas.



Figura 48. Pantalla de entorno de Software TI-33Ri. Fuente: Autor

La figura 49 nos indica la configuración inicial en el software para realizar la prueba de trabajo continuo y ciclaje tropical.

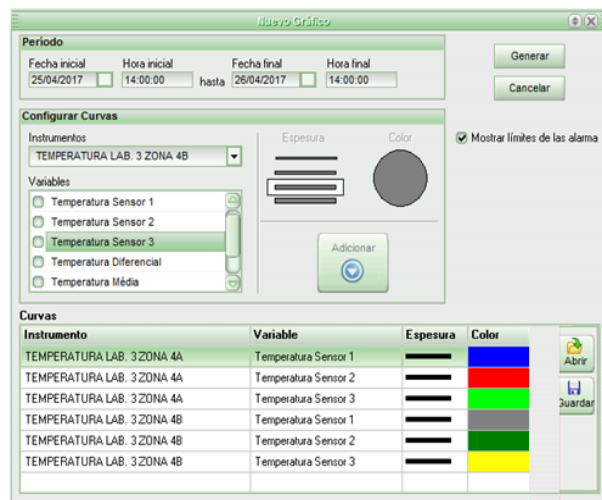


Figura 49. Configuración de Software para inicio de prueba. Fuente: Autor

En la figura 50 se puede observar los resultados del comportamiento de ciclaje térmico, cabe recalcar que el tiempo de estabilización de temperatura en el centro geométrico es de 2 horas.

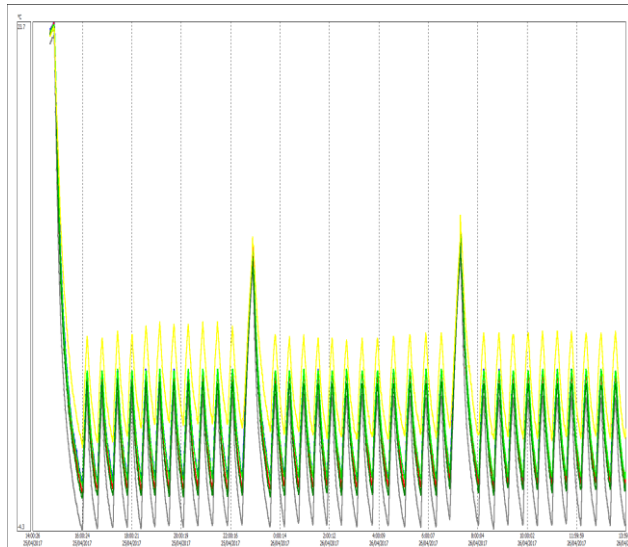


Figura 50. *Ciclaje del artefacto en 24 horas. Fuente: Autor*

La figura 51 muestra a detalle la estabilización de la temperatura en el centro geométrico, para este caso se ha determinado que es de 3.45 °C transcurridas las 2 horas que se establece en el método experimental de laboratorio.

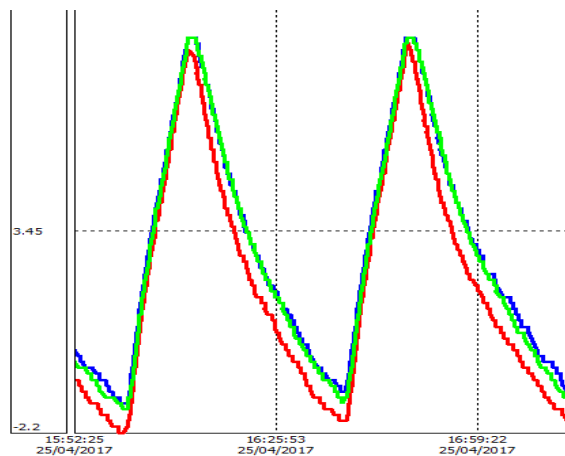


Figura 51. *Estabilización de temperatura en el centro geométrico. Fuente: Autor*

En la tabla 1.6 se presentan los datos de temperaturas obtenidas, mismos que fueron compilados por el software.

Tabla 1.6 *Temperaturas de Laboratorio. [Fuente: Autor]*

TEMPERATURAS OBTENIDAS EN EL LABORATORIO	
Posición 1	276,73°K = 3,58°C
Posición 2	276,65°K = 3,5°C
Posición 3	276,72°K = 3,57°C
Posición 4	276,60°K = 3,45°C
Posición 5	276,85°K = 3,7°C
Posición 6	276,70°K = 3,55°C
Posición 7	276,8°K = 3,65°C

Tabla 1.7 *Comparación de Temperaturas [Fuente: Autor]*

Posición de Termocuplas	Temperatura de Simulación °C	Temperatura de Laboratorio °C	Diferencia de Temperaturas (Simulación-Laboratorio) °C
1	4.03	3.58	0.45
2	4	3.5	0.5
3	3.97	3.57	0.4
4	3.95	3.45	0.5
5	4.15	3.7	0.45
6	4.05	3.55	0.5
7	4.1	3.65	0.45

Para concluir con este capítulo se analiza y compara los resultados de simulación y los experimentales que se muestran en la tabla 1.7

Como se puede observar en la tabla 1.7, se obtiene una diferencia de 0,45 – 0,5 °C en la simulación respecto a los resultados de experimentación, esto debido a las simplificaciones impuestas en las condiciones de contorno.

Para validar el método y asegurar que la simulación es una herramienta de ayuda, se analizan los resultados a través de la Norma Mexicana NOM-022-ENER/SCFI 2008.

Tabla 1.8 Extracto de Valores de Norma. Fuente: [16]

Aparato	Temperatura de la carga de Prueba °C		
	Límite de temperatura mas alta	Temperatura promedio	Límite de temperatura más baja
Enfriador vertical y horizontal(circulación forzada de aire)	7,2	3,33	0

Se analiza la tabla 1.9 los datos de temperatura de la simulación y experimentación con los parámetros de Normativa, y en todos los 7 puntos de medición, se cumplen los mismos.

Tabla 1.9 Validación de datos de Temperatura [Fuente: Autor]

Posición de Termocuplas	Temperatura de Simulación °C	Temperatura de Laboratorio °C	Rango de Temperaturas según Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008.	Cumplimiento de Standard
1	4.03	3.58	0 -7,2 °C	Cumple
2	4	3.5	0 -7,2 °C	Cumple
3	3.97	3.57	0 -7,2 °C	Cumple
4	3.95	3.45	0 -7,2 °C	Cumple
5	4.15	3.7	0 -7,2 °C	Cumple
6	4.05	3.55	0 -7,2 °C	Cumple
7	4.1	3.65	0 -7,2 °C	Cumple

Se tienen dos argumentos para validar la simulación, el primero es la diferencia de 0,5°C entre los datos de simulación y experimentación, esta diferencia es aceptable debido a las simplificaciones en las condiciones de contorno implementadas en el

modelo de simulación, además que en la práctica esta desviación es lógica y manejable.

El segundo argumento se basa en que los valores de las 7 termocupas colocadas en el plano del centro geométrico de la simulación, están dentro de los rangos que establece la normativa, los cuales se visualizan en la tabla 1.9.

Por lo tanto se valida el método de simulación y se garantiza los resultados para pruebas futuras.

En la figura 52 se observa que el comportamiento de las temperaturas son similares, tanto para el caso de la simulación como para el experimental, sin embargo se puede notar una pequeña diferencia en los valores de temperatura, debido a las simplificaciones realizadas en el modelo, pese aquello se puede afirmar que estan dentro de los rangos establecidos en la normativa, por lo que se concluye validando el modelo matematico.

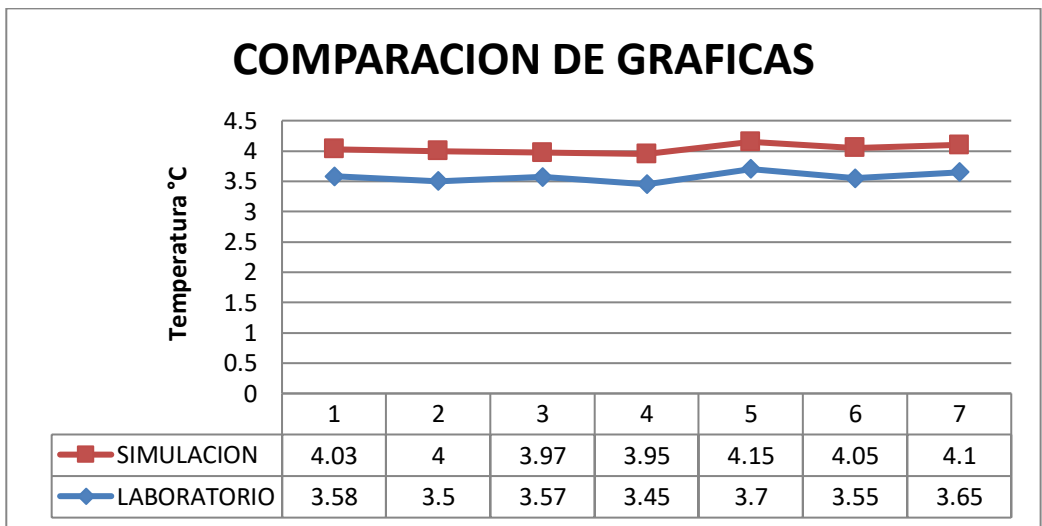


Figura 52. Comparacion de graficas con valores de laboratorio y simulación. Fuente: Autor

CAPITULO 6: PROPUESTA DE MEJORA EN EL DISEÑO DEL COBERTOR

En este capítulo se presenta el rediseño del cobertor actual, en base a la experiencia y los datos obtenidos en el capítulo 4 y 5.

En la figura 53 se muestra una propuesta que plantea tres salidas de aire, reemplazando a la actual que tiene únicamente dos salidas de aire, esto permite tener una mayor área de salida del flujo del aire y por ende una mejor distribución de aire al interior del enfriador. Para garantizar la optimización, el flujo másico del modelo inicial es igual al del modelo optimizado, pero distribuido para 3 salidas lo que antes lo distribuimos para 2 salidas. Considerando que esta etapa es solo Diseño y prototipo virtual.

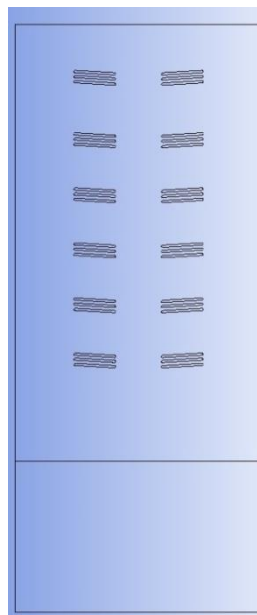


Figura 53. Cobertor mejorado los ductos de salida de aire. Fuente: Autor

Todo el pre procesamiento se lo realizó con los mismos parámetros del capítulo 3 es decir con una calidad de mallado del 85% y una relevancia del 100%, en este capítulo nos enfocaremos a los resultados y optimizaciones del diseño del cobertor y la distribución del flujo de aire.

En la figura 54 se observa la distribución del flujo de aire con el nuevo diseño de cobertor.

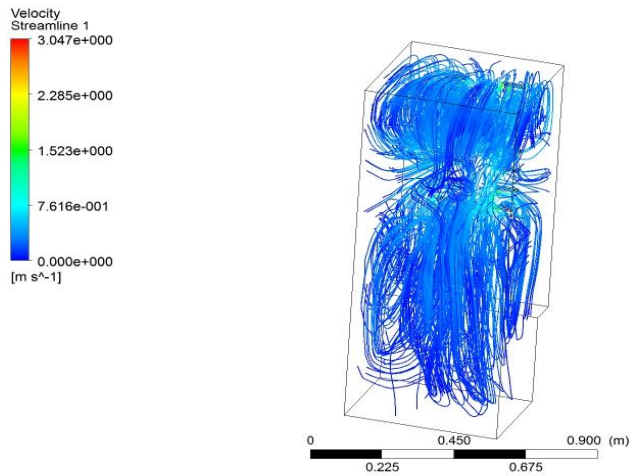


Figura 54. Simulación del flujo de aire al interior del enfriador. Fuente: Autor

En la figura 55 se observa que las líneas de flujo ya llegan a cubrir la parte inferior del enfriador, esto ha sido posible por la variación que se implementó en los ductos de salida, situación que no sucede con el diseño actual (ver figura 29), de esta manera e garantiza una mejor distribución del flujo de aire.

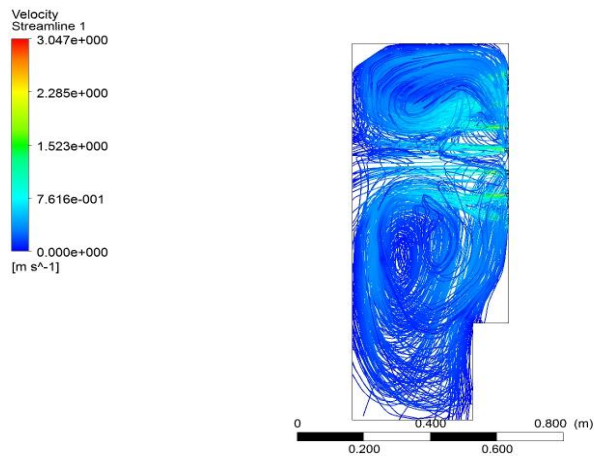


Figura 55. Flujo de aire al interior del enfriador (vista frontal). Fuente: Autor

En las figuras 56 y 57 se observan la diferencia en los perfiles de flujo, debido a la incorporación de un nuevo ducto para distribución.

Específicamente en la figura 56 se puede observar las 3 salidas inclinadas propuestas para el diseño, mismas que generan líneas de flujo mejor distribuidas; en la figura 57 se observa las 2 salidas rectas que pertenecen al cobertor actual.

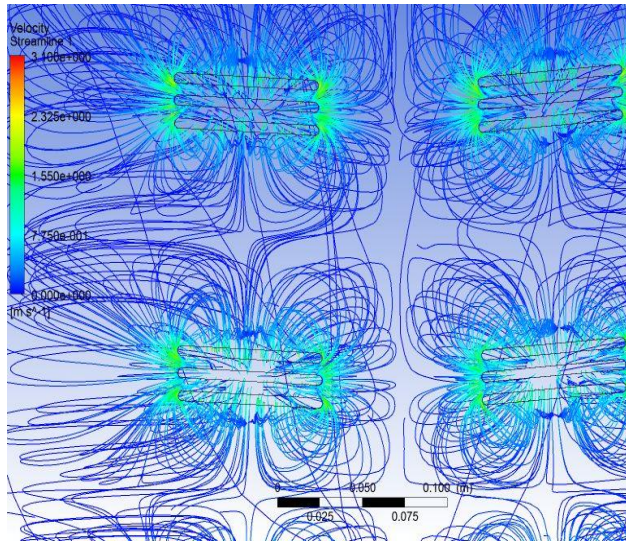


Figura 56. Diseño de cobertor 3 salidas inclinadas (Propuesta). Fuente: Autor

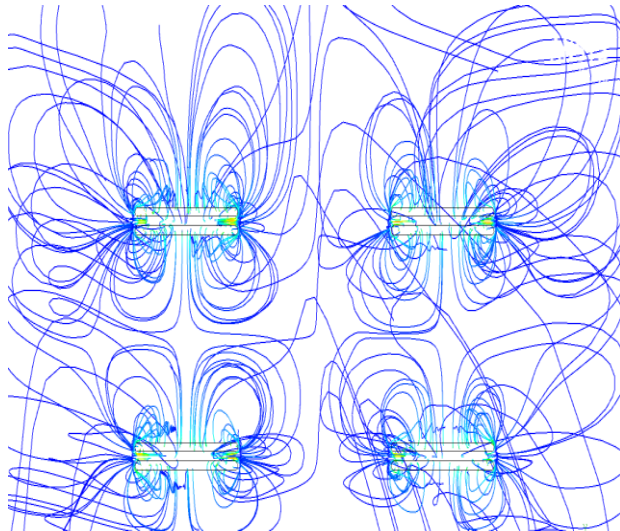


Figura 57. Diseño de cobertor 2 salidas rectas (Diseño actual) Fuente: Autor

La figura 58 indica un plano de temperaturas, en este caso se han colocado 7 puntos referenciales similares a las 7 termocuplas para validación en el laboratorio, con esto queremos asegurarnos como varían las temperaturas de la simulación con las de las pruebas.

En el software Ansys utilizamos el comando Contour que permite realizar planos de temperaturas.

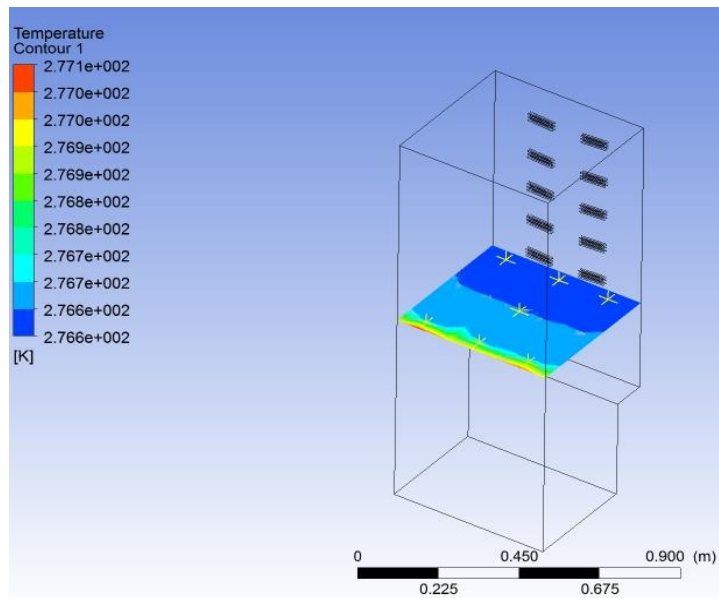


Figura 58. Plano de temperatura en el centro geométrico. Fuente: Autor

Como lo establece la Normativa tenemos que colocar una termocupla en el centro geométrico del artefacto, esto sucede en la práctica pero en nuestro caso en este prototipo virtual lo podemos visualizar con el comando Contour.

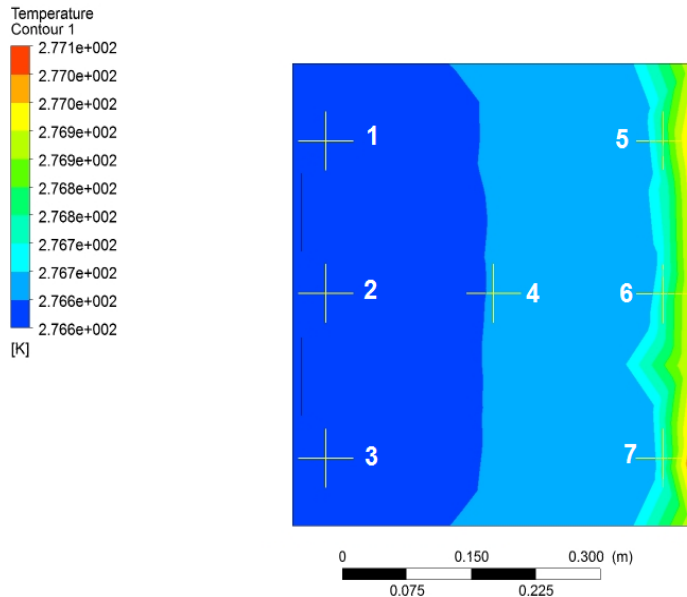


Figura 59. Posición de los 7 puntos referenciales de Temperatura. Fuente: Autor

La figura 59 nos indica los puntos referenciales 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 tal como lo realizamos en el laboratorio colocando las termocuplas.

El Software Ansys Fluent tiene comandos para visualización que ayudan a replicar lo que se realiza en la práctica, en este caso se realizó un plano en el centro geométrico del artefacto, luego se utilizó el comando Point para visualizar las temperaturas, los cuales según las coordenadas, se ubicaron en la 7 posiciones establecidas.

La tabla 1.10 nos indica que los 7 puntos referenciales de temperatura están cumpliendo con lo establecido en la normativa, por lo tanto la mejora es oportuna para el diseño del enfriador vertical.

Tabla 1.10 Validación de datos de Temperatura con la Normativa [Fuente: Autor]

Posición de Termocuplas	Temperatura de Simulación °C	Temperatura de Laboratorio °C	Rango de Temperaturas según Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008.	Cumplimiento de Estandar
1	3.45	3.58	0 -7,2 °C	Cumple
2	3.47	3.5	0 -7,2 °C	Cumple
3	3.49	3.57	0 -7,2 °C	Cumple
4	3.55	3.45	0 -7,2 °C	Cumple
5	3.65	3.7	0 -7,2 °C	Cumple
6	3.67	3.55	0 -7,2 °C	Cumple
7	3.7	3.65	0 -7,2 °C	Cumple

CONCLUSIONES

En un proyecto de producción de artefactos de línea blanca, es prioritario la optimización de tiempos para el desarrollo de un nuevo producto, en este sentido mediante la simulación numérica por el método de elementos finitos ha sido posible dicha optimización, de acuerdo a la validación del método para un enfriador vertical, desarrollado en este documento.

Es fundamental incluir en un proyecto de diseño de artefactos de línea blanca, la etapa de la construcción de prototipos virtuales, ya que se puede simular las veces que sean necesarias hasta cumplir con los parámetros reales, de esta manera se puede desarrollar económicamente los prototipos físicos, optimizando tiempo y recursos.

Para la simulación se asumió un régimen de flujo de aire turbulento, ya que se aproxima a los resultados obtenidos en la experimentación de laboratorio.

El pre-proceso para la simulación 3D, tiene que ser necesariamente aplicado para simplificar en lo posible las geometrías complejas o eliminar aquellas características que no generen una importancia en el análisis, con este criterio se optimiza recursos de tiempo y también computacionales.

Para el mallado es necesario identificar las zonas en donde se necesita refinamiento, es así que para el caso de esta investigación aquellas zonas fueron las salidas del cobertor por donde sale el flujo de aire.

La grafica de convergencia del método es fundamental e indispensable en toda simulación, para nuestro caso si converge la misma.

Al tener una aplicación industrial el método más utilizado es el $k-\epsilon$ además de recirculación de aire y flujo forzado se optó por el modelo de la Familia (Realizable).

La visualización de flujo de aire a las salidas del cobertor antiguamente se lo realizaba con parafinas de colores y una cámara de humo (proceso manual), con el Software ANSYS se visualiza directamente en la pantalla del computador, se aprovechan los avances tecnológicos, se optimizan tiempos y recursos de un proyecto.

Es necesario que toda simulación sea validada con datos experimentales de laboratorio o que cumplan los estándares de una norma local o internacional, de esta manera se puede contribuir con estudios garantizados.

Una vez que se validó el modelo matemático con los datos experimentales, se pudo realizar la optimizaciones en el cobertor, para este caso se mejoró las salidas del flujo de aire, ampliándola a 3 salidas de aire, pero con el mismo flujo másico del cobertor actual, la mejora que se obtuvo fue la homogenización del flujo de aire en el interior del enfriador, llegando hasta la parte inferior, con lo que se homogeniza el enfriamiento de los artículos en el enfriador.

Esta mejora se realizó en un prototipo virtual, el siguiente paso sería la construcción de un cobertor en una impresora 3D para armar un prototipo físico, instrumentarlo y colocarlo en el laboratorio de refrigeración para su evaluación y comprobar mejoras de eficiencia, tiempo de enfriamiento, esto sería parte de un trabajo a futuro.

Al contar con datos experimentales y dada la experiencia en Refrigeración asumimos que una variación de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ como máxima entre la Temperatura de Experimentación y la Temperatura Simulada, podemos validar la Simulación realizando un comparativo con las normativas.

RECOMENDACIONES

Analizar la bibliografía actual para poder construir un estado del arte a fin de que este sea un sustento de la investigación a realizar.

Se debe disponer de computadores con procesadores de alta capacidad (I7) y tarjetas gráficas dedicadas que faciliten la simulación y sus tiempos de resolución, para garantizar los resultados y convergencias.

Disponer de elementos de instrumentación de laboratorio que estén metrologados y en óptimas condiciones de funcionamiento para garantizar la veracidad de los datos de laboratorio.

Se debe dominar el uso del software para poder interpretar todas las variantes que vienen en el mismo, desde el pre proceso, postproceso y así garantizar los resultados mediante la convergencia del método.

Una variante para futuros trabajos sería la incorporación del comportamiento del ventilador al análisis general desarrollado en este trabajo, se considera que esta propuesta generaría resultados más exactos.

Otra variante para trabajos futuros sería la simulación del enfriador con cargas térmicas (parrillas, latas de cerveza, bebidas, etc.) según la norma interna de la empresa, para visualizar los flujos y el cumplimiento de temperaturas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Zhu, *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets*. Springer, 2014.
- [2] S. B. Dávila, «ECUADOR, SALVAGUARDAS Y SUS EFECTOS A CORTO PLAZO: ANÁLISIS DE LA POLÍTICA Y SUS REPERCUSIONES EN EMPLEO Y POBREZA», 2015.
- [3] O. Laguerre, S. B. Amara, J. Moureh, y D. Flick, «Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators», *Journal of Food Engineering*, vol. 81, n.º 1, pp. 144–156, 2007.
- [4] H. Mejía, C. Isaza, S. del Rio, N. Jara, y J. Ospina, «Simulación del flujo de aire al interior de un refrigerador doméstico no-frost», presentado en CYTEF, España, 2014.
- [5] W. J. Yoon, K. Seo, y Y. Kim, «Development of an optimization strategy for insulation thickness of a domestic refrigerator-freezer», *International Journal of Refrigeration*, vol. 36, n.º 3, pp. 1162–1172, 2013.
- [6] C. C. Corona y A. G. Muñoz, «ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA Y FLUJO EN REFRIGERADORES», *JÓVENES EN LA CIENCIA*, vol. 2, n.º 1, pp. 1823–1827, 2017.
- [7] «Article - 562159c708ae70315b58cd3a.pdf». .
- [8] B. U. A. Alcalá y J. A. A. Ayala, «ESTUDIO EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO (CFD) DEL ESPACIO REFRIGERADO DE UN FRIGOBAR COMERCIAL», *JÓVENES EN LA CIENCIA*, vol. 2, n.º 1, pp. 1028–1032, 2017.
- [9] X. Fernández Llanderas, «Estudios de caracterización de residuos plásticos», 2016.
- [10] «Search». [En línea]. Disponible en: https://www.amstyrenics.com/index.php?searchword=styron%20atech%201175&ordering=newest&searchphrase=all&limit=20&option=com_search. [Accedido: 05-may-2017].
- [11] J. C. Nin, «Procesos de fabricación de productos plásticos», *Industrial Data*, vol. 3, n.º 1, pp. 06–08, 2014.
- [12] C. S. López, C. H. S. Zárate, M. S. E. González, y L. A. C. Ramos, «Estudio de la fluencia térmica de PET reciclado utilizando el proceso de termoformado Study of thermal fluency of recycled PET using the thermoforming process», *61 EDICIÓN CUATRIMESTRAL*, 2014.
- [13] N. Badano y A. Menéndez, «Evaluación de metodologías para la modelación reynolds-averaged navier-stokes (rans) de la capa límite en conductos circulares», Bariloche, Argentina, 2014.
- [14] R. Cerpa, E. Nieto, y L. Londoño, «Turbulence models study in an external vehicle aerodynamics, using a computational fluid dynamics software Estudio de

los modelos de turbulencia aplicados a la aerodinámica externa de un automóvil, mediante software de dinámica computacional de fluidos», Actas de Ingeniería, vol. 2, pp. 168–175, 2016.

[15] L. M. S. Castro, S. A. Elaskar, y L. A. Godoy, «Mecánica Computacional, Volume XXXIV. Number 12. Structural Analysis (D)», 2016.

[16] C. D. E. Y. A. PARA, L. F. LOS CUALES, D. Y. C. D. I. IMPORTADORES, y others, «Secretaría de Energía».

[17] O. Neira, «Simulación numérica de la distribución de temperaturas y flujo de aire en el horno de una cocina de uso doméstico» (Master's thesis), 2011

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA

Autor:

Dirigido por:

Freddy Eduardo Narváez Buestán

Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AIRE Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN ENFRIADOR VERTICAL CON PUERTA PANORÁMICA

Este proyecto presenta los resultados del análisis del diseño de un cobertor mediante el software ANSYS, se visualizan los flujos de aire a las salidas del cobertor, como el comportamiento del flujo en el interior del artefacto, se analizan los criterios de preprocesamiento en función de la geometría, se establecen las ecuaciones de gobierno y se visualizan los resultados de la transferencia de calor. Se comparan los resultados de simulación con una Norma Internacional en este caso la NOM-022- ENER/SCFI 2008 y se validan los datos con los obtenidos en el Laboratorio de Refrigeración. Se propone una mejora al diseño del cobertor la cual es validada tanto en el diseño como en la funcionalidad.