

ESTUDIO MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UN PLANTA DE PROCESOS TEXTILES PARA APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA RESIDUAL

NUMERIC SIMULATION STUDY OF A TEXTILE PROCESSING PLANT FOR RESIDUAL ENERGY RECOVERY

Anita Peraldo-Ramos¹, Nain Ramos Alvarez¹, Adrián Terán-Castañeda¹, Juan Uchuya- López¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido (Received): 07 / 09 / 2021 Aceptado (Accepted): 13/ 07 / 2022

RESUMEN

Hoy en día, las plantas de procesos textiles requieren de un control de las condiciones asociadas al proceso de hilandería, siendo el sistema de climatización de los ambientes de trabajo un factor importante en la calidad y productividad de estos procesos. La optimización del sistema de climatización de este tipo de plantas ayuda en la disminución del consumo de energía, por ende, contribuye en la mejora de los productos y genera rentabilidad de los procesos de operación de estas plantas. Una estrategia interesante para la mejora del sistema de climatización es reaprovechar la energía generada en la salida de los ductos de ventilación, "energía residual", mas esta hipótesis en algunos casos es solo especulativa, siendo necesario un estudio detallado. Para verificar dicha mejora energética es desarrollado una metodología mediante simulación numérica que considera el aprovechamiento de la energía residual, la cual, ingresa a la planta de hilandería disminuyendo las temperaturas del sobre-techo de estas plantas. La metodología considera un comportamiento multifísico (termo-fluidos) para el sistema de climatización, esto es, incorpora un modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ para representar el flujo en los ductos de ventilación y considera el proceso de transferencia de calor generado por los equipos que operan en esta planta textil. Además, para la discretización del dominio es considerado refinamientos con diferentes tamaños de elementos y elementos poliédricos. Además, para verificar dicha metodología es analizado una planta de hilandería convencional, considerando en el modelo numérico una sección característica que consta de la disposición general de dicha planta, esto es, equipos, sistema de ventilación y dimensiones de sobre-techo. Para evidenciar los resultados de esta metodología es obtenido los campos de temperatura y líneas de flujo de corriente para la sección característica que verifican el aprovechamiento de la energía residual en las plantas de procesos textiles.

Palabras Clave: Energía residual, climatización, simulación numérica.

ABSTRACT

Nowadays, textile processing plants require control of the conditions associated with the spinning process, being the air conditioning system of the work environments an important factor in the quality and productivity of these processes. The optimization of the air conditioning system of this type of plants helps in the reduction of energy consumption, therefore, contributes to the improvement of the products and generates rentability of the operation processes of these plants. An interesting strategy for the improvement of the air conditioning system is to recover the energy generated at the outlet of the ventilation ducts, "residual energy", but this hypothesis in some cases is only speculative, being necessary a detailed study. To verify this energy improvement, a methodology is developed by means of numerical simulation that considers the use of residual energy, which feeds the spinning plant decreasing the temperatures of the over-roof of these plants. The methodology considers a multiphysical behavior (thermo-fluids) for the air conditioning system, that is, it incorporates a turbulence model $k-\varepsilon$ to represent the flow in the ventilation ducts and considers the heat transfer process generated by the equipment operating in this textile plant. Furthermore, for the discretization of the domain is considered refinements with different element sizes and polyhedral elements. In addition, to verify this methodology, a conventional spinning plant is analyzed, considering in the numerical model a characteristic section consisting of the general layout of the plant, i.e., equipment, ventilation system and over-roof dimensions. To prove the results of this methodology, the temperature fields and current flow lines for the characteristic section are obtained to verify the utilization of residual energy in textile processing plants.

Keywords: Residual energy, air condition system, numeric simulation

*Corresponding author: Anita E. Peraldo-Ramos
E-mail: aperialdo@uni.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El sector textil, en conjunto con el sector de la confección, son responsables del 10% de los impactos ambientales del ciclo de vida europeo, alcanzando la cuarta posición en el ranking de categorías de productos que causan los mayores impactos ambientales [1]. Los impactos negativos asociados con este sector de forma general se pueden resumir en cinco principales categorías: (1) consumo de energía en la producción de materias primas (fibras sintéticas), fabricación de hilados, acabado de hilados y tejidos, lavado y secado de ropa, así como procesos de comercialización y venta; (2) consumo de agua asociado con el cultivo de materias primas, productos químicos de pretratamiento de la etapa de producción, tintes y acabados, así como lavandería; (3) uso de productos químicos (pretratamiento húmedo, teñido, acabado y lavado) y liberación en agua; (4) residuos sólidos que surgen de la fabricación, envasado y disposición final de hilados, tejidos y productos finales de productos al final de su vida útil; y (5) emisiones directas de CO₂, particularmente las relacionadas con los procesos de transporte [2]. Debido a estos impactos negativos es importante destacar el control del consumo de energía asociado al funcionamiento de la planta valorando la eficiencia tanto de equipos principales, auxiliares, iluminación y climatización [3]. Para la climatización se debe estudiar el efecto de las características termo conductivas de los materiales de cerramiento en el consumo de energía siendo que esto aporta a los costos de operación de las áreas productivas del proyecto [4]. También, identificar costos asociados al consumo energético de los equipos seleccionados, el costo asociado al mantenimiento, la demanda esperada y la vida útil de los componentes [5]. Además, de los cuidados de gestión energética existen estudios enfocados a la gestión de los residuos textiles postindustriales posteriores, los cuales ayudan a desarrollar materiales de aislamiento acústico utilizando desechos mixtos de algodón / poliéster y caucho natural [6].

Desde el punto de vista económico, algunos trabajos muestran cómo lograr una comprensión profunda de las demandas ecológicas de los clientes objetivos y una referencia para el diseño y producción de productos de moda sostenibles que ahorren energía. Esto se logra mediante un procedimiento sistemático que identifique los factores energéticos para proyectos sostenibles y el desarrollo de escenarios factibles y prácticos [7].

Por lo anterior expuesto reducir la huella medioambiental para la industria es necesaria, para ello la sostenibilidad y las plantas textiles deben

formar parte de una economía circular, alargando la vida de los productos mediante la conservación de las fibras textiles dentro de un circuito cerrado. Esto se logra clasificando la ropa para reciclaje, donde usualmente se hace de manera manual, una propuesta de una máquina que analice los espectros infrarrojos de las muestras textiles y aplicando métodos estadísticos multivariados adecuados puede lograr la clasificación precisa permitiendo el reciclaje de los tejidos [8].

En industrias como la agrícola existen técnicas y sistemas concernientes a los sistemas de enfriamiento pasivo aplicados en la construcción ganadera, estos principios son de la misma forma aplicables a la industria textil [9]. Propuestas como la de un sistema de enfriamiento de tratamiento de aire híbrido, que incluye un sistema de tratamiento de aire “plug-and-play”, promueve la eficiencia energética mejorando la calidad del aire interior, mediante una unidad de tratamiento de oxidación basada en ozono y un dispositivo de depuración de aire. Los resultados de esta propuesta han indicado que un menor caudal de aire exterior conduce a una reducción significativa del consumo total de electricidad para refrigeración [10].

Trabajos en los que se estudia el consumo energético medio, específico y por equipos de la industria textil, revelan un potencial ahorro de energía calculando las emisiones de CO₂ para la producción de una pieza de prenda, lo que demostró que la participación considerable en el consumo de energía la producción de vapor, los compresores y los equipos de iluminación es relevante [11]. No obstante, las aplicaciones de la industria textil no se limitan solo al confeccionado de ropa, sino que también se usan para recubrir paredes en el campo de la ingeniería civil, por ejemplo, se han utilizado TRC (textiles de carbono, matriz cementosa) para reforzar o reforzar los elementos estructurales de antiguas obras de construcción donde se analizan el efecto de la temperatura elevada sobre el comportamiento del TRC y el rendimiento del TRC [12].

Existen zonas con condiciones climatológicas que causan problemas a los sistemas de refrigeración como puede ser la India en una época del año, esto causa una sobrecarga el serpentín de enfriamiento y una fuerte disminución en el rendimiento del condensador enfriado por aire en un clima tan extremo. Por lo tanto, se da lugar a un consumo excesivo de energía por parte del compresor del acondicionador de aire convencional. La combinando del efecto del serpentín de enfriamiento convencional junto con la carga de enfriamiento total de enfriamiento por evaporación sobre los serpentines se puede disminuir y simultáneamente mejorar la tasa

de rechazo de calor en el condensador [13]. Es así que, un sistema de recuperación de calor residual presenta una gran oportunidad para recuperar energía de los sistemas de refrigeración in situ y convertirla en agua caliente útil, dependiendo de la aplicación se pueden obtener ahorros [14]. Estos sistemas de recuperación de calor además se pueden adecuar a distintos sistemas como el sistema con enfriamiento evaporativo de ciclo M [15].

Una inclusión interesante en la evaluación de la recuperación de la energía residual es abordada en este trabajo de investigación. Primeramente, describimos a las plantas textiles para realizar el estudio de caso que será abordado. Segundo, realizamos la metodología numérica para evaluar los estudios de casos, considerando en este apartado el dominio de análisis, las condiciones de frontera, el modelo de turbulencia, discretización del dominio y los parámetros de estudio. Este estudio es realizado en la ciudad de Lima, Perú, en las instalaciones de una planta textil industrial dedicada al proceso de producción de hilados de algodón, con una producción promedio de 12 toneladas por periodo de 24 horas de operación. Para evaluar el rendimiento del consumo energético en una planta textil no solo se toma en cuenta el consumo de equipos, sino que también costes de iluminación y climatización por lo que una modificación en este tipo de sistema no solo puede mejorar el consumo energético, sino que también mejorar el confort. Por último, verificamos los resultados numéricos para el caso de estudio mencionado mediante el análisis de un ambiente comparando al diseño de una planta textil que hace recircular el aire por el entretecho y controla la temperatura del ambiente de trabajo, aliviando de esta forma la carga térmica que se genera por los diferentes equipos de hilandería.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS TEXTILES

2.1. Unidad de análisis

El estudio se realiza sobre una planta industrial textil de procesos de hilandería de algodón y mezclas, ubicada en Lima, Perú. El diseño considera la investigación documental y de campo para el caso materia del estudio.

El propósito del estudio es la posibilidad de implementar la propuesta para mejorar la viabilidad económica de una nave usada en la industria textil, esto dado que se necesita que el ambiente interior en todas las dependencias de la planta sea el adecuado, tanto para las personas como para las máquinas o elementos de la producción, temperatura, humedad relativa, ruido, composición del aire, etc.

En todos los casos, el ingreso de aire del entretecho a la sala principal es indeseable, por lo que es un factor bastante controlado en la planta. En condiciones de baja temperatura, la pérdida de calor a través del cielo raso puede representar puntos o zonas frías que influyen de forma negativa en el proceso productivo; en condiciones de alta temperatura, el ingreso de calor del entretecho representa una sobrecarga para el sistema de climatización y su consecuente costo en energía. En ambos casos el ingreso de aire del entretecho puede representar además ingreso de polvo, suciedad, pelusa, fibras cortas, trazas de lana de vidrio del aislamiento, o cualquier otro elemento que se pudiera encontrar, por todo lo precedente, para el efecto de la simulación, resulta valido considerar que existe un sellado lo suficientemente confiable del cielo raso, de forma que no permite ni permitiría el paso de aire desde el entretecho a la sala, ni en la condición real ni en la simulada, siendo el cielo raso capaz de manejar el flujo y la presión adicional que se generará en el entretecho por el paso del aire residual

2.2. Consideración funcional

El estado natural del sub ambiente correspondiente al entretecho es de aire estanco, ya que no presenta sistemas de climatización ni de circulación de aire, además de encontrarse idealmente cerrada en todas sus superficies. En la práctica, por el efecto de la climatización de la sala principal que trabaja en presión menor a la atmosférica y por la reducida inversión en el sellado del cerramiento lateral del entretecho, el entretecho se convierte en un pulmón abastecedor de aire a la espera de la menor abertura en el cielo raso para ingresar a la sala principal. Ese efecto es factible de ser controlado asegurando un adecuado nivel de sellado del cielo raso, adicionalmente es usual la instalación de “extractores” eólicos que contribuyen en menor medida a reducir la presión del aire del entretecho sobre su intención de ingresar a la sala principal.

2.3. Propuesta

Analizar el sistema de ahorro de energía para plantas de procesos textiles aprovechando la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización. Esto permitirá reducir la demanda de energía eléctrica necesaria para controlar las condiciones de temperatura del ambiente en las instalaciones materia del estudio, significando reducción de costos en la operación del sistema de climatización, sistemas auxiliares y

consecuentemente en la operación de la planta, esto se muestra en la Fig. 1.

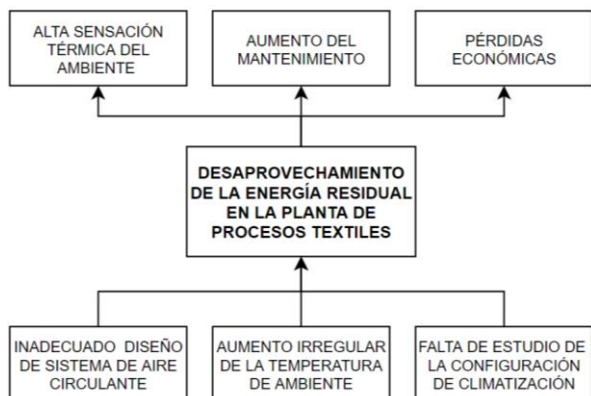


Fig. 1. Árbol de problemas.

3. METODOLOGÍA NUMÉRICA PARA PLANTAS TEXTILES

A partir de la descripción problemática es identificado el caso de estudio de una planta textil con aprovechamiento de la energía residual y es elaborado la metodología numérica para una sección de la planta textil con la condición real y la propuesta. Además, se establece que la “nave industrial” o sección de la planta textil, consta de dos sub ambientes, el principal que es la nave propiamente, que inicia a nivel del suelo y en el que se encuentran el personal, las máquinas y se realiza el proceso productivo, y un segundo sub ambiente, que corresponde al que se encuentra entre el cielo raso o falso techo y el techo. A seguir describiremos con énfasis la propuesta numérica para la realización de la simulación de estos casos de estudio.

3.1. Primer caso de modelamiento

Este primer caso define una condición real o existente del sistema de climatización sin aprovechamiento de la energía residual. El modelamiento considera una sección de la planta de hilandería, la cual consta de los equipos de planta y los ductos de salida de aire y rejillas de ventilación, ver Fig. 2. Además, no es considerada toda la planta de hilandería sino este modelo observado en la Fig. 2 es catalogada como la sección representativa de la planta.

La Fig. 2 muestra la sección representativa de la geometría de la planta de hilandería, considerando ductos de salida de aire de forma externa con rejillas y equipos textiles igualmente espaciados.

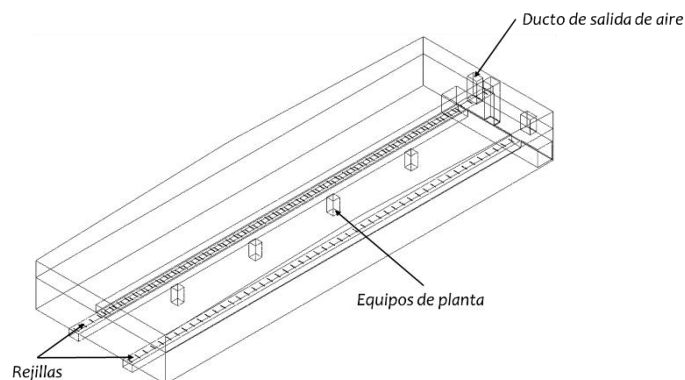


Fig. 2. Módulo de climatización convencional de la planta de hilandería.

3.2. Segundo caso de modelamiento

Corresponde a la condición propuesta simulada en el modelamiento, en la que, el aire residual del sistema de climatización, y que normalmente es expulsado al exterior, sea forzado a través del segundo sub ambiente que se encuentra en el área entre el cielo raso o falso techo y el techo. Es importante también considerar que, dentro del espacio entre los techos, se encuentran los conductos que trasladan el aire climatizado a inyectar en la sala, por lo que la superficie de los conductos (que son de plancha metálica de $e < 1\text{mm}$ revestida en lana de vidrio de $e < 25\text{mm}$), representa una considerable área de transferencia de calor entre el aire que conduce y el circundante en el entretecho. Es importante considerar que, debido a la configuración del sistema de climatización, es usual que el aire expulsado del sistema, se dispone en la parte alta de la planta, sobre la línea de altura del cielo raso o, en el extremo, un poco por encima de la misma, lo que deja el aire residual y la energía residual térmica y cinética que éste contiene justo a disposición para ingresar o ser direccionada al entretecho. La Fig. 3 muestra una configuración similar a la planta convencional, pero agrega un ducto de recirculación del aire y dos salidas.

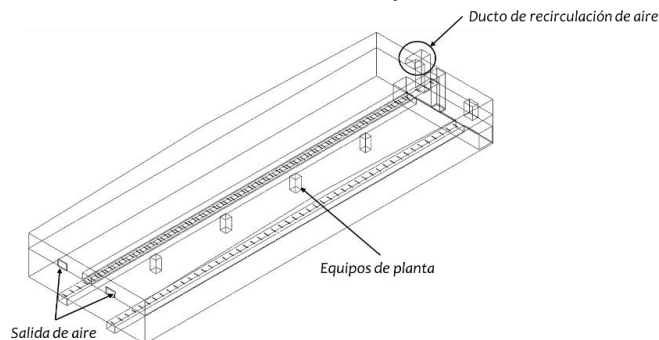


Fig. 3. Módulo de climatización que incluye la modificación propuesta.

3.3. Condiciones de frontera

De acuerdo con las condiciones de estudio son establecidas algunas condiciones de contorno que ayudarán a determinar las condiciones reales a las cuales la planta de hilandería opera. La TABLA I y TABLA II muestran estas condiciones de contorno. Además, la Fig. 4 y Fig. 5 especifican de manera esquemática las condiciones de contorno de los casos de estudio propuestos.

TABLA I
Condiciones de contorno para la climatización convencional de la planta

Superficie seleccionada	Tipo de contorno	Etiqueta
Entrada de aire fresco	Ingreso	INLET
Salida de aire desde el sistema de Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Salida	OUTLET
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY1
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY2

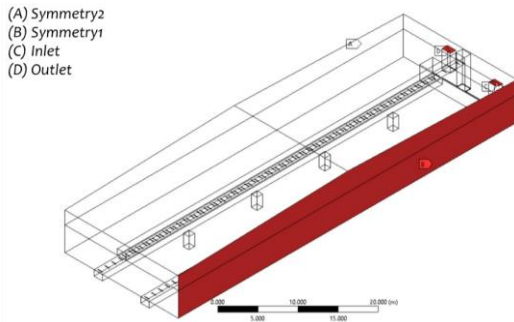


Fig. 4. Condiciones de contorno para la climatización convencional de la planta.

TABLA II
Condiciones de contorno para la climatización propuesta de la planta

Superficie seleccionada	Tipo de contorno	Etiqueta
Entrada de aire fresco	Ingreso	INLET
Salida de aire desde el sistema de	Salida	OUTLET1
Salida de aire desde el entretecho	Salida	OUTLET2
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY1

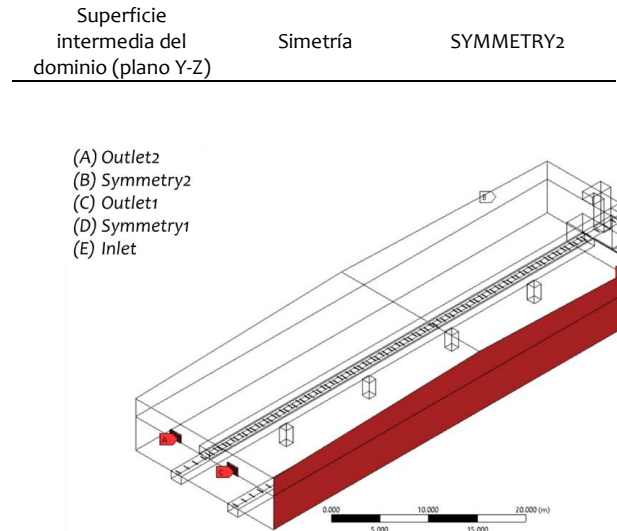


Fig. 5. Condiciones de contorno para la climatización propuesta de la planta.

3.4. Modelo de turbulencia

Los modelos de turbulencia de las ecuaciones permiten la determinación tanto de una longitud turbulenta y una escala de tiempo resolviendo dos ecuaciones de transporte separadas. El modelo estándar en Ansys Fluent se encuentra dentro de esta clasificación y se ha convertido en uno de los más usados en el campo de la ingeniería, desde que fue propuesto por Launder y Spalding [16]. Particularmente, el modelo estándar $k - \epsilon$ está fundamentado en las ecuaciones de transporte, para la energía cinética turbulenta k y su tasa de disipación ϵ [16].

La energía cinética turbulenta, y su tasa de disipación, se obtienen a partir de la ecuación (1) y la ecuación (2) de transporte.

Para k :

$$\frac{\partial(\rho \cdot k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot k \cdot u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \cdot \epsilon - Y_M + S_k, (1)$$

Para ϵ :

$$\frac{\partial(\rho \cdot \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot \epsilon \cdot u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \cdot \frac{k}{\epsilon} \cdot (G_k + C_{3\epsilon} \cdot G_b) - C_{2\epsilon} \cdot \rho \cdot \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon, (2)$$

Donde, G_k , es la generación de energía cinética turbulenta debido a los gradientes de la velocidad media, G_b , es la generación de energía cinética

turbulenta debido a flotabilidad, Y_M , es la contribución a la disipación de la turbulencia debido a la fluctuación en la dilatación de turbulencia compresible, $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ y $C_{3\varepsilon}$ son constantes del modelo, σ_k y σ_ε son los números de Prandtl para k y ε . S_k y S_ε son los términos fuente de ambos parámetros.

La viscosidad turbulenta μ_t para este modelo es descrita por la combinación de k y ε como se muestra en la ecuación (3).

$$\mu_t = \rho \cdot C_\mu \cdot \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (3)$$

Donde C_μ es una constante.

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_{3\varepsilon} = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

3.5. Discretización del dominio

Para calcular las propiedades de los campos involucrados en el fenómeno estudiado se discretiza el dominio en volúmenes de control, donde en cada una de las celdas generadas se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa, cantidad de movimiento y energía.

La relación de aspecto en Fluent es una medida del estiramiento de una celda. Se calcula como la relación entre el valor máximo y el valor mínimo de cualquiera de las siguientes distancias: las distancias normales entre el centroide de la celda y el centroide de la cara, y las distancias entre el centroide de la celda y los nodos, esto se ve en la Fig. 6, [17].

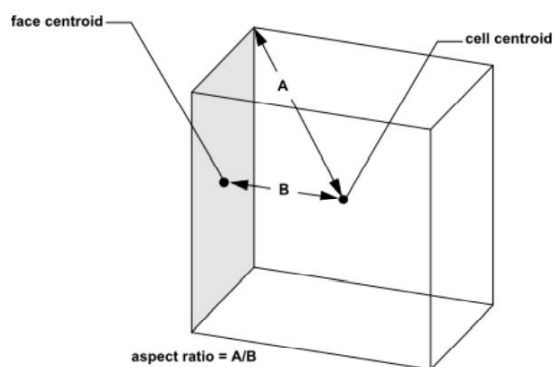


Fig. 6. Cálculo de la relación de aspecto para un cubo unitario, [15].

Para los elementos del tipo poliedros la ortogonalidad se mide de la siguiente manera:

El producto escalar normalizado del vector de área de una cara (\vec{A}_i) y un vector desde el centroide de la celda al centroide de esa cara (\vec{f}_i)

$$\frac{\vec{A}_i \cdot \vec{f}_i}{|\vec{A}_i| |\vec{f}_i|}, \quad (4)$$

El producto escalar normalizado del vector de área de una cara (\vec{A}_i) y un vector desde el centroide de la celda al centroide de la celda adyacente que comparte esa cara (\vec{c}_i)

$$\frac{\vec{A}_i \cdot \vec{c}_i}{|\vec{A}_i| |\vec{c}_i|}, \quad (5)$$

El valor mínimo que resulta de calcular la ecuación (4) y ecuación (5) para todas las caras se define entonces como la ortogonalidad de la celda. Por lo tanto, las peores celdas tendrán una ortogonalidad más cercana al valor de cero y las mejores celdas tendrán una ortogonalidad más cercana al valor de uno. Los vectores usados para este cálculo se aprecian en la Fig. 7.

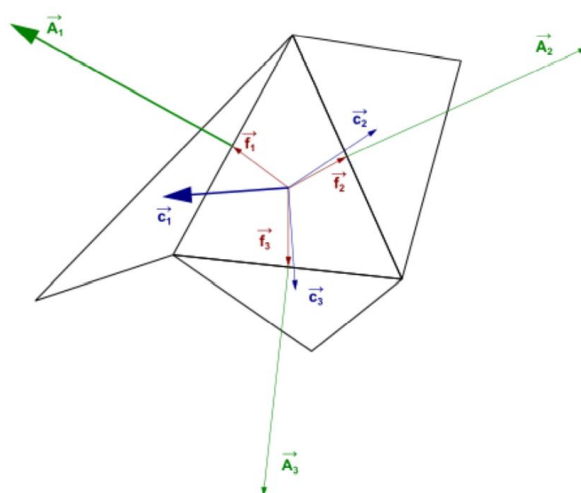


Fig.7. Vectores usados para calcular la ortogonalidad, [15].

La discretización del dominio consta de un tipo de malla poliédrica ya que proporciona un mayor grado de precisión en la obtención de los campos de temperatura y velocidades del flujo circundante en todo el sistema de climatización. En los modelos propuestos se obtienen 832,498 elementos poliédricos para la malla correspondiente al módulo de análisis del sistema de climatización convencional, y 837,794 elementos poliédricos para la malla del módulo del sistema de climatización propuesto. La Fig. 8 y Fig. 9 muestran el mallado de los sistemas de climatización de las plantas considerando elementos poliédricos.

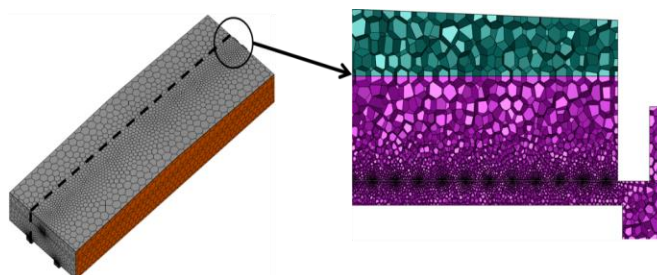


Fig. 8. Mallado del módulo del sistema de climatización convencional.

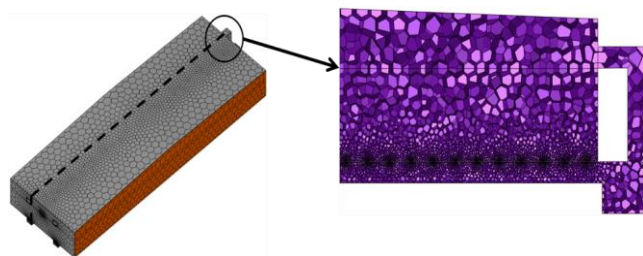


Fig. 9. Mallado del módulo del sistema de climatización propuesto.

Se debe tener un equilibrio entre la cantidad de elementos utilizados y el tiempo computacional empleado, en el cual influye el tipo de elementos usados y el tamaño de los mismos en el enmallado. Sin embargo, existen métricas a revisar sobre esta discretización para obtener buenos resultados, estas son la ortogonalidad y la relación de aspecto. Las métricas mínimas de ortogonalidad se aprecian en la Fig. 10 y Fig. 11, mientras que la cantidad de elementos y datos de la relación de aspecto de los elementos se muestran en la TABLA III y TABLA IV.

TABLA III
Características mallado del sistema convencional

Número de celdas	Tipo de elementos	Ortogonalidad mínima	Ratio de aspecto máximo
832498	Poliedros	0.13655291	48.65488

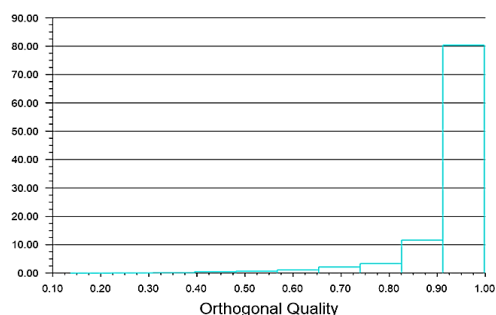


Fig. 10. Calidad de ortogonalidad del mallado del sistema convencional.

TABLA IV
Características mallado del sistema propuesto

Número de celdas	Tipo de elementos	Ortogonalidad mínima	Ratio de aspecto máximo
837794	Poliedros	0.05002873	88.102013

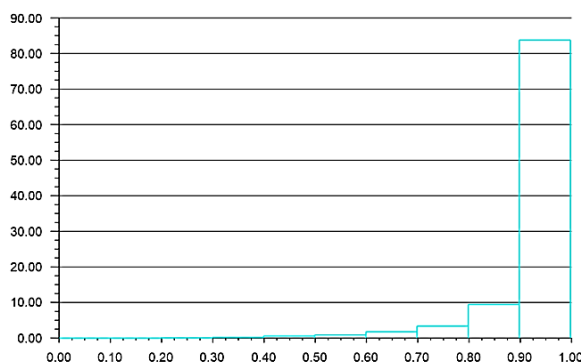


Fig. 11. Calidad de ortogonalidad del mallado del sistema propuesto.

3.6. Parámetros para estudio

Debido a la complejidad de los casos de estudio, fueron considerados los fenómenos de convección y radiación, las cuales son dadas para las condiciones de contorno mencionadas en la TABLA V. También, las propiedades térmicas como la lana de vidrio dependen de la humedad que esta posea, entre otras variables [18], para este caso de estudio se toma de referencia el valor de 0.03 W/m-K en las zonas que la contengan. La TABLA V, muestra los parámetros insertados en el modelo numérico para representar los fenómenos mencionados. La TABLA VI, muestra las velocidades y propiedades establecidas en la entrada y salida para ambos casos de estudios.

TABLA V
Condiciones de contorno y propiedades para los fenómenos de convección y radiación

Frontera	Temperatura (°C)	Espesor (m)	Coefficiente de conducción (W/m-K)	Coefficiente de convección (W/m ² -K)	Emisividad	Generación de calor (W/m ²)
Ductos	24	0.013	0.03			
Rejillas	32	0.013	0.03			
Paredes	32	0.12		17		
Techo Máquinas	40	0.001	202.4	20	0.7	2.8

TABLA VI

Propiedades para la entrada y salida de ambos casos de estudios

Frontera	Velocidad (m/s)	Presión (atm)	Ratio de viscosidad turbulenta	Intensidad de turbulencia	Temperatura (°C)
Inlet	2	1	5%	10	24
Outlet	---	1	5%	10	26.85

4. RESULTADOS

A partir de la metodología numérica propuesta anteriormente se realizó x’mediante simulaciones numéricas el comportamiento del sistema de climatización del aire convencional y propuesto para una planta de hilandería, son obtenidos los campos de temperaturas, denominadas iso-temperaturas y líneas de corriente para representar las velocidades del flujo de aire.

La Fig. 12 muestra el cerramiento o cobertura del techo de la planta industrial con un valor de temperatura de 40 °C uniformemente representada en toda su superficie, que corresponde a una condición real en temporadas de verano, y que constituye una de las situaciones propuestas en el modelamiento numérico.

La Fig. 13 evidencia un cambio en las temperaturas de la cobertura del techo para el modelamiento propuesto, este cambio es ligero mostrando el cambio del campo de temperaturas en gran medida en la superficie del techo de la planta textil. Complementariamente, en la Fig. 14 y Fig. 15 se muestran las líneas de corriente con sus respectivas velocidades, donde se evidencia el aire que se hace recircular, tanto para el modelo real y propuesto, respectivamente.

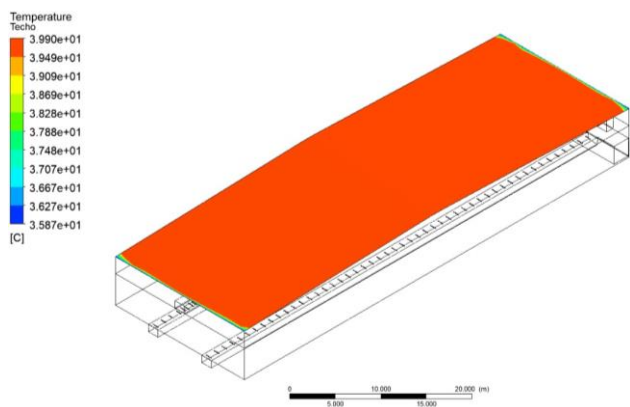


Fig. 12. Iso-temperaturas de la cobertura del techo de la planta de hilandería.

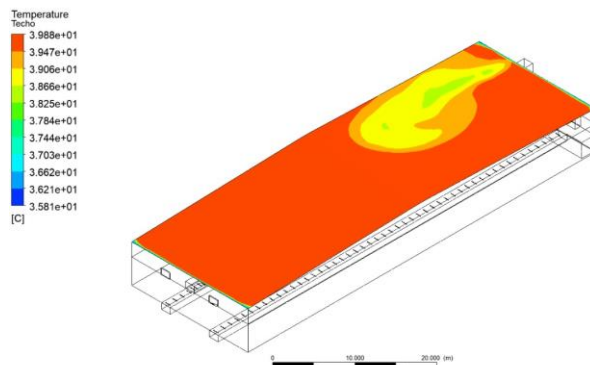


Fig. 13. Iso-temperaturas de la cobertura del techo de la planta de hilandería propuesta.

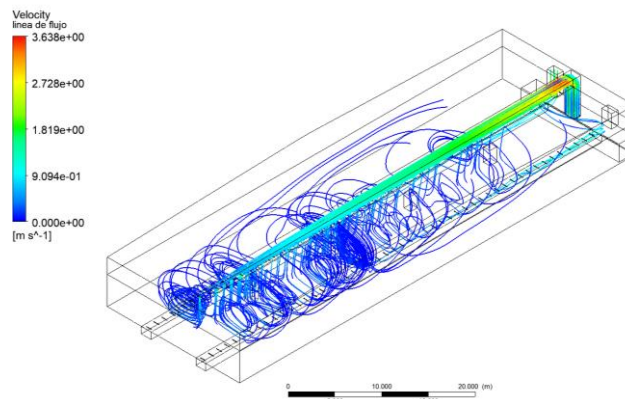


Fig. 14. Comportamiento del flujo de aire climatizado y de recuperación, correspondiente al primer caso de estudio.

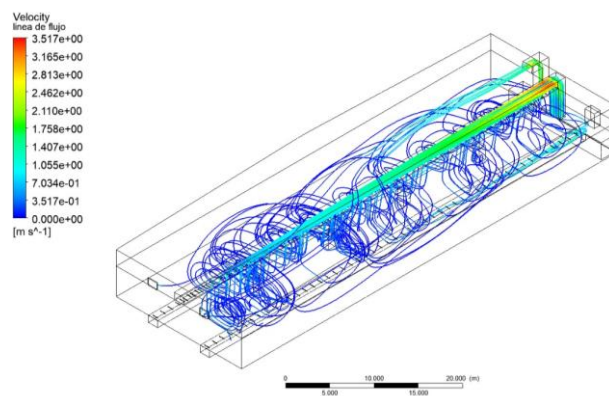


Fig. 15. Comportamiento del flujo de aire climatizado y de recuperación, correspondiente al segundo caso de estudio.

CONCLUSIONES

Se puede aprovechar la energía residual cinética y térmica contenida en el aire residual como un factor de reducción de demanda de energía eléctrica del sistema de climatización de la planta materia del estudio.

El modelamiento permite, para el caso de estudio, identificar el comportamiento del aire climatizado en la planta industrial, que por las velocidades en

la entrada muestra un comportamiento turbulento.

La implementación de la propuesta permitirá reducir la carga térmica y la magnitud del rango de temperatura de operación de los materiales que conforman el cerramiento, el aislamiento y otros activos que se pudieran encontrar en el entretecho de la nave industrial estudiada.

El uso de elementos poliédricos es factible en simulaciones de ambientes cerrados y geometrías parecidas al caso estudiado, dado que la calidad del mallado en general es muy buena y no incrementa la cantidad de elementos requeridos como si sería si se usasen tetraedros.

El ducto de recirculación de aire cumple su función y existe un aprovechamiento de la energía residual por el flujo que ingresa al entretecho.

REFERENCIAS

- [1] Peraldo, A. y Chavez, F. (2020) Propuesta de sistema de ahorro de energía para plantas de procesos textiles aprovechando la energía residual, Lima, [En línea]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3107665>
- [2] Resta, B. y Dotti, S, “8 - Environmental impact assessment methods for textiles and clothing. Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing”, *Woodhead Publishing Series in Textiles*, , pp. 149-191, 2015, doi: 10.1016/B978-0-08-100169-1.00008-3.
- [3] Soto, M. D., y Nuñez, M. (1997). Estudio de factibilidad de una hilandería de algodón pima, peinado retorcido para títulos finos 50/2 - 95/2 Ne, tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1946>
- [4] Azahuanche Asmat, M. H. (2013). Cálculo y diseño del sistema de climatización de áreas de producción en laboratorios farmacéuticos. Universidad Nacional de Ingeniería. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2342559#.YTVDBhMNbgo.mendeley>
- [5] Caparó, J. C. (1999). Climatización de la sala de ventas de un supermercado, informe técnico, Universidad Nacional de Ingeniería, [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17825>
- [6] Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Thebuwanage, L. M., y Bandara, U. A. A. N, “An environmentally friendly sound insulation material from post-industrial textile waste and natural rubber”, *Journal of Building Engineering*, no. 101606, 2020, doi:10.1016/j.jobe.2020.101606.
- [7] Moon, K. K.-L., Youn, C., Chang, J. M. T., y Yeung, A, “Product design scenarios for energy saving: A case study of fashion apparel”, *International Journal of Production Economics*, vol. 146, no. 2, pp. 392–401, 2013, doi:10.1016/j.ijpe.2013.02.024.
- [8] Riba, J. R., Cantero, R., Canals, T., y Puig, R, “Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 272,no. 123011, 2020, <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123011>.
- [9] Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G., y Kotsopoulos, T. A, “Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: a critical review”, *Energy and Buildings*, vol. 109368, 2019, doi:10.1016/j.enbuild.2019.109368.
- [10] Cui, X., Islam, M. R., y Chua, K. J, “Experimental study and energy saving potential analysis of a hybrid air treatment cooling system in tropical climates”, *Energy*, vol. 172, pp. 1016–1026, 2019, doi:10.1016/j.energy.2019.02.040
- [11] Çay, A, “Energy consumption and energy saving potential in clothing industry”, *Energy*, vol. 159, pp. 74–85, 2018, <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.06.128>
- [12] Tran, M. T., Vu, X. H., y Ferrier, E, “Mesoscale numerical modeling and characterization of the effect of reinforcement textile on the elevated temperature and tensile behaviour of carbon textile-reinforced concrete composite”, *Fire Safety Journal*, vol. 103186, 2020, doi:10.1016/j.firesaf.2020.103186
- [13] Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., y Singh, A. (2018). Theoretical performance analysis of window air conditioner combined with evaporative cooling for better indoor thermal comfort and energy saving. *Journal of Building Engineering*, 17, 52–64. doi:10.1016/j.jobe.2018.01.012
- [14] Turnbull, R., y Muneer, T, “A Two Year Comparison of Energy and CO₂ Emissions of an Industrial Refrigeration Plant after the Installation of a Waste Heat Recovery System”, *Energy Procedia*, vol. 161, pp. 251–258, 2019, doi:10.1016/j.egypro.2019.02.089
- [15] Zanchini, E., y Naldi, C, “Energy saving obtainable by applying a commercially available M-cycle evaporative cooling system to the air conditioning of an office building in North Italy”, *Energy*, 2019, doi:10.1016/j.energy.2019.05.065
- [16] Launder, B.E. y Spalding, D.B. (1972) *Mathematical Models of Turbulence*. Academic Press, London.
- [17] ANSYS Fluent Theory Guide Release 20.2, ANSYS, 2020.
- [18] Jeon, Chan-Ki y Lee, Jae-Seong y Chung, Hoon & Kim, Ju-Ho & Park, Jong-Pil, “A Study on Insulation Characteristics of Glass Wool and Mineral Wool Coated with a Polysiloxane Agent”, *Advances in*

Materials Science and Engineering, vol. 2017, 2017,
pp- 1-6, 2017, 10.1155/2017/3938965.



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY 4.0. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo revistas@uni.edu.pe