

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**PROPUESTA DE SISTEMA DE AHORRO DE ENERGÍA
PARA PLANTAS DE PROCESOS TEXTILES
APROVECHANDO ENERGÍA RESIDUAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERIA CON MENCIÓN EN GERENCIA E
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**ELABORADO POR
ANITA ETELVINA PERALDO RAMOS VDA DE VEGA
FEDERICO FRANCISCO CHÁVEZ LIZAMA**

**ASESOR
DR. JUAN JOSÉ UCHUYA LÓPEZ**

**LIMA – PERÚ
2020**

Dedicado a nuestras familias por la confianza, dedicación y paciencia en la formación como maestros, sin su amor y apoyo no se hubiera logrado.

Los autores

Agradecemos al Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica Dr. Elmar Javier Franco Gonzales por su apoyo y a nuestro asesor, el Dr. Juan José Uchuya López, por su paciencia y orientación en el desarrollo y culminación de la tesis.

Los autores

RESUMEN

La eficiencia de los procesos productivos textiles depende del control de las condiciones asociadas al proceso, en ese contexto, la climatización de los ambientes de trabajo es un factor clave en la calidad y productividad de los procesos de hilandería. La optimización de los procesos, orientada a un menor consumo de energía, contribuye a mejorar el posicionamiento de los productos y aporta rentabilidad a la operación. El trabajo propone un sistema que permita reutilizar energía residual, generando una disminución en la demanda de servicio del sistema de climatización y consecuentemente la disminución de costos operativos. Se analiza mediante simulación numérica, la geometría de la planta y el efecto de la implementación del sistema propuesto, comprobando la hipótesis y su impacto en el proceso en estudio. Se identifican beneficios adicionales al propuesto y se propone su aplicación a otros procesos en los que fuera aplicable.

ABSTRACT

Textile productive process efficiency depends on the control of a series of variables associated with it, among them, climatization of production halls is a key factor that affects both the quality and productivity of the spinning processes. Process optimization, orientated to energy saving, contributes to product placement improvement and operation profitability. The thesis proposes the implementation of a system that allows residual energy reuse, favoring a decrease on the climatization of production halls demand, consequently reducing operation costs. Through a numerical simulation that contemplates the implementation of the mechanisms for the residual energy reuse proposed on a plant model, it has been possible to demonstrate the effectivity of the hypothesis and its impact on the productive process. Additional benefits to the ones proposed are also identified, suggesting its utilization to other processes when applicable.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES	3
1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA	9
1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	9
1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.3. OBJETIVO (GENERAL Y ESPECÍFICO)	11
1.4. HIPÓTESIS (GENERAL Y ESPECÍFICO)	12
1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.5.1. UNIDAD DE ANÁLISIS	12
1.5.2. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.5.3. PERIODO DE ANÁLISIS	13
1.5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	13
1.5.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	13
1.5.6. IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS DEL PROYECTO	13
1.5.6.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD	14
1.5.6.2. DETERMINACIÓN DE LA HIPÓTESIS	15

1.5.6.3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	16
1.5.6.4. EJECUCIÓN DE LA MEJORA	17
1.5.6.5. VALIDACIÓN DE RESULTADOS	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	19
2.1. DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES	19
2.1.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	19
2.1.2. SISTEMA DE FLUJO POR LOTES	19
2.1.3. LÍNEA DE PRODUCCIÓN.....	20
2.1.4. SISTEMA CONTINUO.....	20
2.1.5. DEFINICIÓN DE ARQUITECTURA INDUSTRIAL.....	20
2.1.6. LA PLANTA INDUSTRIAL.....	21
2.1.7. EL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	22
2.1.8. LA ECONOMÍA DEL SISTEMA.....	23
2.1.9. LAS CONSIDERACIONES HUMANAS	23
2.1.10. LAS CONSIDERACIONES ECOLÓGICO-AMBIENTALES.....	24
2.1.11. CICLO DE DISEÑO DE UNA IMPLANTACIÓN.....	25
2.1.12. LA IMPLANTACIÓN POR ÁREAS.....	25
2.1.13. LA VENTILACIÓN EN LOS EDIFICIOS INDUSTRIALES.....	26
2.1.13.1. Necesidad de la ventilación	26
2.1.13.2. La ventilación natural	26
2.1.14. LA VENTILACIÓN FORZADA	27

2.1.14.1. Ventilación por extracción de aire	27
2.1.14.2. Ventilación por sobrepresión.....	27
2.1.14.3. Ventilación por sobrepresión y extracción simultaneas	28
2.1.15. GENERALIDADES	28
2.1.15.1. Las fachadas	28
2.1.15.2. Fachadas realizadas in situ.....	28
2.1.15.3. Paneles de chapa metálica	29
2.1.15.4. Las cubiertas en los edificios de plantas industriales	30
2.2. GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES.....	30
2.2.1. TIPOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES	30
2.2.2. FUENTES Y PRODUCCIÓN	31
2.2.3. GESTIÓN INTERNA DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES.....	32
2.2.4. GESTIÓN EXTERNA DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES	33
2.3. AISLAMIENTO TERMICO EN LA CONSTRUCCION	34
2.3.1. CAMBIO CULTURAL Y NUEVOS PARADIGMAS.....	34
2.3.2. CUÁNTO, CÓMO Y DÓNDE AISLAR	35
2.3.3. CALOR, TEMPERATURA Y EQUILIBRIO TÉRMICO	36
2.3.4. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA TÉRMICA	37
2.3.5. RESISTENCIA TÉRMICA Y RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES.....	37
2.3.6. TRANSMITANCIA TÉRMICA	37

2.3.7. LA IMPORTANCIA DE LA INERCIA TÉRMICA EN LA CONSTRUCCIÓN.....	38
2.4. MARCO CONCEPTUAL	39
2.4.1. MATERIA PRIMA.....	39
2.4.1.1. Algodón	39
2.4.1.2. Otros materiales	40
2.4.1.3. Proceso de hilatura de algodón y mezclas.....	41
2.4.1.4. Mercado y producto	42
2.4.1.5. Desperdicios y subproductos	43
2.4.2. PLANTA INDUSTRIAL	44
2.4.2.1. Forma, materiales y disposición.....	44
2.4.2.2. Condiciones optimas.....	45
2.4.2.3. Control de condiciones	45
2.4.2.4. Aislamiento y conductividad.....	46
2.4.3. EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA EL PROCESO.....	47
2.4.3.1. Equipos principales.....	47
2.4.3.2. Equipos auxiliares.....	49
2.4.3.3. Equipos de climatización.....	50
2.4.3.4. Equipos de iluminación	52
2.4.4. MANTENIMIENTO	53
2.4.4.1. Dimensionamiento	53
2.4.4.2. Impacto en el proceso.....	54

2.4.4.3. Personal especializado	54
2.4.5. RECURSO HUMANO.....	55
2.4.5.1. Mano de obra directa	55
2.4.5.2. Supervisión, dirección y control.....	56
2.4.5.3. Condiciones laborales.....	56
2.4.6. EMISIONES Y CONTAMINACIÓN	56
2.4.6.1. Emisiones acústicas	57
2.4.6.2. Emisiones térmicas.....	57
2.4.6.3. Emisiones sólidas	57
CAPÍTULO III: SIMULACIÓN Y ESTUDIO DE CASO	58
3.1. MÉTODO DE TRABAJO.....	58
3.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	62
3.3. ESTUDIOS DE CASOS	64
3.4. CONDICIONES DE CONTORNO	66
3.4. CONFIGURACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUMÉRICA	68
3.5. RESULTADOS	72
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXO A: MATRÍZ DE CONSISTENCIA	85

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.1. ÁRBOL DE PROBLEMAS</i>	10
<i>FIGURA 3.1. PLANTA DE HILANDERÍA CONVENCIONAL</i>	65
<i>FIGURA 3.2. PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA</i>	65
<i>FIGURA 3.3. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA CONVENCIONAL</i>	67
<i>FIGURA 3.4. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA</i>	67
<i>FIGURA 3.5. ENMALLADO DE LA PLANTA CONVENCIONAL</i>	68
<i>FIGURA 3.6. CORTE SECCIONAL, IDENTIFICANDO LA MALLA POLIÉDRICA</i> ...69	
<i>FIGURA 3.7. PARÁMETROS PARA EL MODELO DE TURBULENCIA K-W</i>	70
<i>FIGURA 3.9. ISO-TEMPERATURAS DEL TECHO DE LA PLANTA DE HILANDERÍA CONVENCIONAL</i>	73
<i>FIGURA 3.10. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA</i>	74
<i>FIGURA 3.11. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA</i>	74

<i>FIGURA 3.12.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	75
<i>FIGURA 3.13.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	75
<i>FIGURA 3.14.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	76
<i>FIGURA 3.15.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	76
<i>FIGURA 3.16.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<i>FIGURA 3.17.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<i>FIGURA 3.18.</i> CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	78

LISTA DE TABLAS

TABLA 3.1. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA CONVENCIONAL.....	66
TABLA 3.2. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PLANTA DE HILANDERÍA PROPUESTA.	66
TABLA 3.3. CONDICIONES DE CONTORNO Y PROPIEDADES PARA LOS FENÓMENOS DE CONVECCIÓN Y RADICACIÓN.	71
TABLA 3.4. PROPIEDADES PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE AMBOS CASOS DE ESTUDIOS.	71

PRÓLOGO

El presente trabajo para optar por el grado de maestro en ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento, está articulado en tres capítulos, además de las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas, de acuerdo a lo siguiente:

El capítulo 1, “Introducción”, presenta los puntos relevantes identificados en la revisión bibliográfica de artículos científicos y de trabajos de tesis relacionados con procesos textiles, climatización industrial y aprovechamiento de energía residual, los cuales complementan el conocimiento y la experiencia en el tema materia del presente estudio que constituyen la realidad problemática identificada, producto de lo cual, se resuelve plantear y formular el problema de investigación, establecer los objetivos, proponer las hipótesis, e identificar la metodología de la investigación.

El capítulo 2, “Marco Teórico y Conceptual”, presenta los fundamentos relacionados al tema objeto de la investigación, además de constituir una memoria descriptiva de los principales alcances aplicables al proceso productivo materia del estudio, de forma tal que proporciona información relevante para identificar el proceso de hilatura y sus alcances, la importancia del sistema de climatización para el proceso y su injerencia en el factor humano, y el impacto medio ambiental del proceso productivo y las instalaciones asociadas al mismo.

El capítulo 3, “Modelamiento y Estudio de Casos”, cuantifica la problemática descrita y propone el método de solución basado en simulación de dos escenarios mediante

el cálculo por elementos finitos, aplicando la herramienta informática ANSYS. Presenta además los resultados obtenidos y la discusión de los mismos.

Las “Conclusiones”, en donde se procede con la aplicación de los resultados obtenidos para la validación de las hipótesis planteadas.

Las “Recomendaciones”, en donde se presenta la factibilidad y viabilidad de implementación de las hipótesis válidas para el caso de estudio y para casos similares; y finalmente se propone los resultados obtenidos como referente para aplicaciones futuras.

Las “Referencias bibliográficas”, que lista los documentos consultados y citados, y que cumplen las exigencias de validez científica y tecnológica aplicables para el desarrollo del presente trabajo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolla 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. Respecto de las instalaciones, es válido comentar que corresponden al tamaño promedio para las condiciones de competencia del mercado objetivo, así como es posible comentar también que el proceso productivo de la hilandería se enfoca en el procesamiento de materia prima de calidad superior al promedio y consecuentemente, a la obtención de productos de alta calidad. La ubicación de las instalaciones otorga una posición privilegiada en comparación a similares a nivel mundial y condiciones promedio en comparación de otras ubicaciones a nivel nacional, por lo cual los resultados obtenidos son factibles de aplicar en instalaciones cuyas características permitan la obtención de resultados similares.

1.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES

Realizando una revisión bibliográfica, se identifica relevante lo siguiente:

SOTO Y NUÑEZ (1997), consideran de importancia para el resultado económico de la operación de la hilandería, materia de su estudio, el control del consumo de energía asociado al funcionamiento de la planta, identificando y valorando la eficiencia de los

equipos principales, auxiliares, de climatización y de iluminación, de forma tal que el estudio permite identificar los beneficios económicos de la selección asociada al consumo de energía de cada uno de los equipos considerados para la implementación de la planta industrial y su correspondiente aporte en la factibilidad económica del proyecto.

AZAHUANCHE (2006), estudia el efecto de las características termo conductivas de los materiales de cerramiento en el consumo de energía, su investigación aporta resultados respecto de los costos de operación de las áreas productivas conformantes del estudio, los que contribuyen a la toma de decisiones para la selección del equipamiento óptimo, así como posibilitan obtener valores predictivos del consumo y el consecuente costo de energía debido a las características termo conductivas de los materiales de cerramiento de las instalaciones que se consideran en la operación.

CAPARÓ (1999), identifica los costos asociados al consumo de energía de los equipos seleccionados para las instalaciones materia de su estudio, estima además los costos asociados al mantenimiento de dichos equipos, tomando en consideración para ambos casos la eficiencia, la demanda esperada y la vida útil de los componentes. Investiga también los efectos en el consumo de energía asociados a las características de los materiales de cerramiento y al tránsito esperado en las instalaciones, como factores de cálculo de diseño y selección, y como proyección de demanda de energía de los equipos seleccionados en su instalación.

ALLWOOD ET AL. (2008), el artículo evalúa los cambios significativos del impacto económico, ambientales y sociales para las empresas con preocupaciones con la sostenibilidad, las cuales planifican bajo escenarios el desarrollo y aplicaciones con

un ecualizador gráfico de triple resultado, la cual resulta en una reducción significativa de los impactos.

ÇAY (2018), según la experiencia de los más importantes proveedores de ropa en el mundo, Turquía, la manufactura textil concentra esfuerzos en analizar el consumo de energía relacionado al impacto ambiental. Con un trabajo analítico diversificado en el que se estudia el consumo energético medio, específico y por equipos, se revela un potencial ahorro de energía calculando las emisiones de CO₂, lo que concluyó la participación considerable en el consumo de energía la producción de vapor, los compresores y los equipos de iluminación, por la cual se recomienda un cambio en los equipos de iluminación a energícamente eficientes.

CUI ET AL. (2019), propone un sistema de enfriamiento de tratamiento de aire híbrido (HATCS), que incluye un sistema de tratamiento de aire plug-and-play. Este trabajo promueve la eficiencia energética mejorando la calidad del aire interior, a través de una unidad de tratamiento de oxidación basada en ozono y un dispositivo de depuración de aire. El HATCS propuesto ha demostrado su capacidad para reducir el suministro de aire ambiental contaminado y mantener una IAQ aceptable. Los resultados de la simulación han indicado que un menor caudal de aire exterior conduce a una reducción significativa del consumo total de electricidad para refrigeración.

DHAMNEYA ET AL. (2018), el problema aquí es la sobrecarga el serpentín de enfriamiento y causa una fuerte disminución en el rendimiento del condensador enfriado por aire en un clima tan extremo, que normalmente existe durante unos cuatro meses en un año que afecta a la mayor parte de la India. Da lugar a un consumo excesivo de energía por parte del compresor del acondicionador de aire convencional. Combinando el efecto del serpentín de enfriamiento convencional con

la carga de enfriamiento total de enfriamiento por evaporación sobre los serpentines se puede disminuir y simultáneamente se puede mejorar la tasa de rechazo de calor en el condensador. Esta investigación muestra que las características de desempeño del Sistema Propuesto mejoran significativamente.

DISSANAYAKE ET AL. (2020), la gestión de los residuos textiles postindustriales posteriores se está volviendo cada vez más desafiante la cual, esta investigación, ofrece un método novedoso para desarrollar materiales de aislamiento acústico utilizando desechos mixtos de algodón / poliéster y caucho natural. Se ha preparado una variedad de muestras variando la presión de moldeo, la temperatura y el espesor del panel. Las propiedades acústicas se evaluaron basándose en el coeficiente de absorción de sonido (SAC) y el coeficiente de reducción de ruido (NRC) de los materiales medidos utilizando el aparato de tubo de impedancia.

FIRFIRIS ET AL. (2019), un artículo de las técnicas y sistemas más importantes, concernientes a los sistemas de enfriamiento pasivo aplicados en la construcción ganadera, con una descripción de los principios constructivos de los sistemas de refrigeración pasiva más habituales de los edificios agrícolas y su ahorro energético.

MOON ET AL. (2013), el desarrollo de productos sostenibles permite a las empresas impulsar cambios para lograr la excelencia empresarial y mejorar la cultura corporativa. El artículo desarrolla pautas para el diseño y producción de productos de moda sostenibles que ahorren energía (ESFP). Este estudio permite a las empresas obtener una comprensión más profunda de las demandas ecológicas de sus clientes objetivo y proporciona a los diseñadores una referencia para el diseño y la producción de ESFP para satisfacer las necesidades específicas de diferentes clientes. En teoría, este estudio demuestra un procedimiento sistemático y logístico

para la identificación de factores energéticos para la moda sostenible y el desarrollo de escenarios factibles y prácticos para el diseño y producción de ESFP.

RESTA ET AL. (2015), el sector textil y de la confección por sí solo es responsable 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. Sin embargo, en términos generales, los impactos negativos asociados con este sector se pueden resumir en cinco categorías principales: (1) consumo de energía en la producción de materias primas (especialmente fibras sintéticas), en la fabricación de hilados, en el acabado de hilados y tejidos, en el lavado y secado de ropa, así como en los procesos de comercialización y venta; (2) consumo de agua asociado con el crecimiento de materias primas, productos químicos de pretratamiento de la etapa de producción, tintes y acabados, así como con la lavandería; (3) uso de productos químicos (especialmente en pretratamiento húmedo, teñido, acabado y lavado) y su 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 relacionadas con los procesos de transporte.

RIBA ET AL. (2020), la industria textil y de la moda se encuentra entre las industrias más contaminantes y que utilizan más recursos, lo que afecta al medio ambiente natural, por lo que es fundamental minimizar la huella medioambiental de la industria textil y de la moda. Este artículo presenta un enfoque para la detección y clasificación de piezas de una máquina clasificadora automática de residuos textiles. Para ello, se analizan los espectros infrarrojos de las muestras textiles y, aplicando métodos estadísticos multivariados adecuados especialmente diseñados para resolver problemas de clasificación, se alcanza una precisión de clasificación del 100% de

muestras de fibras desconocidas. Los resultados permiten predecir que las fibras textiles se pueden clasificar automáticamente con un 100% de precisión a alta velocidad, sin necesidad de aplicar ningún tratamiento analítico previo a las muestras textiles.

TRAN ET AL. (2020), este artículo presenta resultados de modelos experimentales de carbono de refuerzo con diferentes geometrías y productos de tratamiento para mejorar la unión textil / matriz. Para el enfoque numérico, los datos de entrada de los modelos numéricos se eligieron a partir de los resultados experimentales de los materiales componentes de TRC (textiles de carbono, matriz cementosa). El efecto de la temperatura elevada sobre el comportamiento del TRC y el rendimiento del TRC se determinó y analizó comparándolo con los resultados obtenidos a temperatura ambiente. Al comparar los resultados experimentales en ambos TRC de carbono, el efecto del tejido de refuerzo sobre el comportamiento termo mecánico de los compuestos de TRC también podría destacarse y discutirse.

TURNBULL ET AL. (2019), el objetivo combatir el cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura global de este siglo muy por debajo de los 2 °C mediante la reducción de la producción de CO₂. 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. El trabajo investiga el uso de un sistema de recuperación de desechos dentro de un sistema de refrigeración en el sitio. Los resultados mostraron un ahorro del 5% por parte de la planta de refrigeración en total junto con un ahorro individual del 27% por parte del compresor dentro del sistema de refrigeración.

ZANCHINI ET AL. (2019), analiza el ahorro energético que se puede obtener al acoplar un sistema de enfriamiento evaporativo de ciclo M disponible comercialmente

a un ciclo de refrigeración convencional, para el aire acondicionado de edificios de oficinas en el norte de Italia. El análisis se realiza mediante la simulación dinámica de un caso de estudio. Se consideran las necesidades de energía por hora para refrigeración, deshumidificación y cambio de aire, durante julio y agosto, de un edificio de oficinas real ubicado en Milán. Se analizan dos sistemas con enfriamiento evaporativo de ciclo M y se comparan con un sistema tradicional: el preenfriamiento del aire externo en ciclo M, acoplado a un ciclo de refrigeración; Enfriamiento por ciclo M del aire recirculado, acoplado a un ciclo de refrigeración con recuperación de calor. La reducción de la energía térmica se debe a que se evita el recalentamiento después de la deshumidificación, sin disminución del confort térmico.

ZHAO ET AL. (2019), el análisis envolvente de datos (DEA) y el índice de productividad bienal de Malmquiste Luenberger (BML) se aplican para medir y descomponer la eficiencia energética tradicional bajo las restricciones de emisión de carbono de la industria textil de China para el período 2000 - 2012. Un estudio del panorama energético entre el este y el oeste de China y que se deba principalmente a efectos estructurales.

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La competitividad de los mercados exige la máxima eficiencia en todo proceso conducente a la obtención del producto orientado al mercado. A nivel global, la materia prima se considera un recurso con tendencia a escasas, condición que impacta en los precios actuales y futuros de la misma; el interés de fuentes de capital de inversión y la competencia por cubrir el abastecimiento de productos con demanda sustentable se encuentran presentes en el mercado atendido por los productos de las instalaciones en estudio. A nivel nacional, la tendencia de la economía ejerce aún más presión sobre el control de los costos de

producción, específicamente para el caso en estudio, el incremento del valor de los bienes inmuebles, los costos asociados a las edificaciones e instalaciones, otros costos asociados directa e indirectamente a la producción, los costos por mano de obra directa e indirecta para el proceso, costos sociales y tantos otros posibles de enumerar, necesariamente se ven reflejados en el costo del producto y por ende en su precio de comercialización. La problemática citada no es nueva y como tal, y al igual que en muchos otros agentes económicos, es materia de interés prioritario en la operación de la empresa, al punto que, para mantener un sistema productivo a precios competitivos, no resulta sorprendente que el margen de reducción de costos asociados al proceso es cada vez más estrecho. Implementación de tecnología productiva de vanguardia, maquinaria de alta eficiencia, optimización de instalaciones, control exhaustivo de la eficiencia; racionalización de uso de capital financiero, de recursos humanos, de recursos energéticos y muchos otros factores son válidos y su implementación y mejora se estudian permanentemente con el estricto objetivo de reducir costos.

El árbol de problema, figura 1.1, presenta el problema principal y la oportunidad de aprovechar la energía residual para obtener ventajas energéticas que se traduzcan en ventajas económicas para las empresas de procesos textiles.

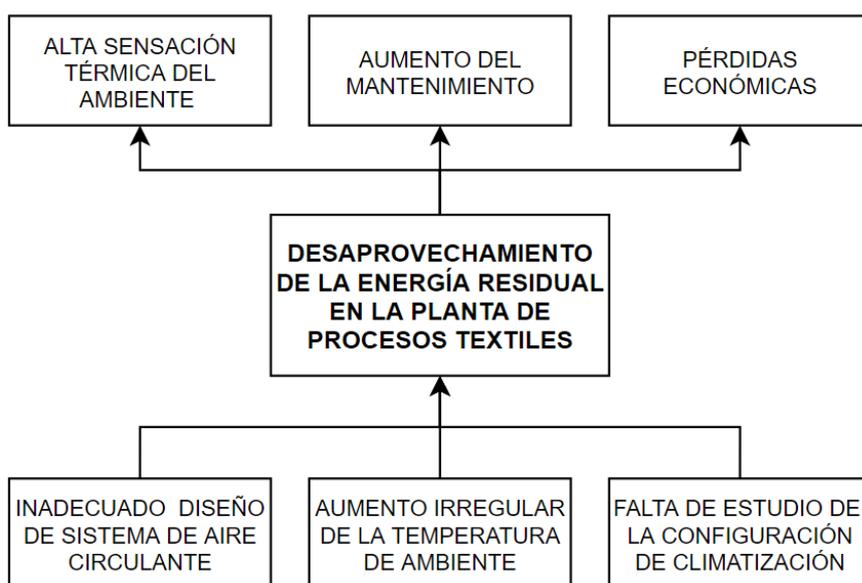


Figura 1.1. Árbol de problemas

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como formulación del problema general, se tiene:

¿Es posible establecer un sistema de ahorro de energía en plantas de procesos textiles en el que se aproveche la energía residual contenida en el aire evacuado por el sistema de climatización, aquella que se entrega al ambiente sin aprovechamiento en naves de hilandería de una planta de procesos textiles?

Como formulación de problemas específicos, se tienen:

- 1) ¿Es posible optimizar las condiciones de control de la temperatura del aire circulante en las naves de hilandería de una planta de procesos textiles?
- 2) ¿Es posible aprovechar la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización de las naves de hilandería de una planta de procesos textiles?

1.3. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)

Objetivo General:

Proponer un sistema de ahorro de energía para plantas de procesos textiles aprovechando la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización.

Esta propuesta 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.

Objetivos Específicos:

Como objetivos específicos, se tienen:

- 1) Identificar aquellos factores que impactan en el control de la temperatura del aire circulante de la hilandería para cuantificar dicho impacto y evaluar las opciones de mejora que pudieran ser aplicables.
- 2) Determinar la factibilidad de aprovechamiento de la energía residual del sistema de climatización y cuantificar su efecto utilizando la herramienta de simulación numérica.

1.4. HIPÓTESIS (GENERAL Y ESPECÍFICAS)

Hipótesis General:

Es factible 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.

Hipótesis Específicas:

- 1) Es factible determinar acciones de mejora y cuantificar el impacto en ciertos factores asociados al control de la temperatura del aire circulante de la planta de hilandería.
- 2) Es factible aprovechar la energía residual del sistema de climatización de la planta de hilandería, y cuantificar la parte de dicha energía residual aprovechada utilizando la herramienta de simulación numérica.

1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. UNIDAD DE ANÁLISIS

Planta industrial textil de procesos de hilandería de algodón y mezclas, ubicada en Lima, Perú.

1.5.2. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación corresponde al estudio de un caso específico.

El diseño considera la investigación documental y de campo para el caso materia del estudio.

El propósito es de aplicación al caso de estudio, con la posibilidad de extenderse a otros casos.

1.5.3. PERIODO DE ANÁLISIS

Comprende entre los años 2017 al 2019.

1.5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En una primera etapa, se considera la información histórica disponible en la planta materia del estudio, las especificaciones de los equipos, y la obtenida del personal encargado de la operación y mantenimiento.

Como sustento de las acciones propuestas, se considera información obtenida en libros y tesis coincidentes en temas de interés del presente estudio.

1.5.5. TECNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El levantamiento de la información consistirá en obtener la información disponible en las instalaciones de la planta estudiada, directamente desde los medios impresos y digitales existentes.

El procesamiento de la información obtenida se realizará principalmente mediante hojas de cálculo.

1.5.6. IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS DEL PROYECTO

El presente estudio se realiza como respuesta a la identificación de la posibilidad de la implementación de la mejora propuesta, la viabilidad económica resulta real y será

válida en la medida en que sea considerada de interés para la operación y como acción de inversión en los procesos de la planta industrial. Bajo esta premisa, se detalla de manera concisa las acciones consideradas en el cronograma estimado y sus respectivos costos, identificando además el concepto al que estos pertenecen y los responsables de asumirlos.

El resultado de la implementación de la propuesta es factible de cuantificar de forma teórica, sin embargo, la implementación real del proyecto determinará resultados más precisos y resultará de aporte al presente estudio, sustentando las hipótesis y posibilitando su verificación tangible.

1.5.6.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

Se identifica en este grupo la primera etapa de la investigación, la cual se desarrollará en las instalaciones de la planta industrial, principalmente enfocada en la información existente.

Levantamiento de información

Consiste en la toma de datos históricos existentes en los registros de operación y mantenimiento de la planta industrial analizada en el estudio. Se realizará con la debida autorización y con la coordinación apropiada para optimizar el proceso. La información no representa secreto industrial, sin embargo, deberá ser conducida y depurada debidamente.

Estudio de condiciones iniciales

A la información disponible será adicionada la información que se obtenga durante el mismo proceso, la cual resultará complementaria y de validación bidireccional.

Funcionamiento y fallas

Será de interés del presente estudio, el levantamiento de la información de las condiciones de operación y funcionamiento de los equipos involucrados, así como la información disponible respecto de fallas, acciones de mantenimiento y otras asociadas a los intereses del estudio.

Otros factores de interés

Considera la información adicional necesaria para el estudio, a decir el costo de la energía, los costos asociados al mantenimiento, productividad, disponibilidad, confiabilidad esperada y en general aspectos del proceso productivo de interés en el presente estudio.

1.5.6.2. DETERMINACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Este grupo de actividades se desarrollará también en las instalaciones de la planta, pero esta vez de forma directa sobre los equipos y el proceso productivo. Representa la parte correspondiente al trabajo de campo de la investigación.

Evaluación de condiciones

En esta etapa se tomará especial interés en las condiciones de operación del sistema de climatización y sus efectos en la línea de producción. Asimismo, en este punto se identificará las características y condiciones de los cerramientos y otros asociados a la infraestructura.

Costos de operación

Corresponden a la cuantificación económica de las condiciones asociadas al sistema en su estado de funcionamiento previo a la implementación de la mejora propuesta.

Identificación de pérdidas

Se refiere a la observación y verificación de condiciones adversas al sistema y que representan pérdidas en su funcionamiento.

Factibilidad de implementación

Finalmente, durante el estudio in situ, se observarán y considerarán las facilidades disponibles para las modificaciones propuestas al sistema de climatización de la planta industrial.

1.5.6.3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Esta etapa consiste en el trabajo con la información obtenida en las instalaciones, no resulta necesario realizarla en la planta, sin embargo, puede requerir eventuales visitas a las instalaciones para temas puntuales.

Estudio de modelos aplicables

Una vez disponible la información, se procederá a determinar las acciones posibles de ejecutar en el sistema materia del estudio, se agruparán en modelos de implementación integrales, orientadas al objetivo de reducir los costos asociados al funcionamiento del sistema.

Elección de modelo óptimo

En esta etapa se determinará y sustentará la selección del modelo seleccionado para la propuesta de solución, es posible que producto del estudio realizado, el modelo elegido presente características de más de un modelo planteado inicialmente.

Costeo y presupuesto

Identificadas las acciones a proponer, se procederá a cuantificar la implementación de las mismas, de forma que se disponga de una propuesta económica real y ajustada a la planta materia del presente estudio.

Presentación de la propuesta

Se considera el tiempo requerido para la presentación y exposición de las mejoras propuestas, que permitan sustentar la inversión y justificar los beneficios asociados a la ejecución del proyecto.

1.5.6.4. EJECUCIÓN DE LA MEJORA

Económicamente, corresponde a la inversión en la implementación del sistema propuesto. Se identifica a cargo de la empresa y representa la materialización exitosa de la propuesta.

Inicio del proyecto

Corresponde a la etapa de coordinaciones y planificación de la ejecución de las acciones de mejora, se identificarán los requerimientos y las interrupciones que pudieran ocasionarse en el proceso productivo.

Fabricación y preparación

Se refiere a la etapa en la que se desarrollarán las adquisiciones y fabricaciones necesarias para la implementación del sistema elegido.

Montaje e instalación

Es la etapa más invasiva dentro de la planta industrial y el proceso de producción para la implementación de la mejora. Corresponde a la materialización visible de la implementación de la modificación al sistema de climatización.

Liberación y puesta en marcha

Se realizará la verificación del correcto funcionamiento de los equipos involucrados en la implementación, de forma tal que garanticen una puesta en operación segura y acorde a lo propuesto.

1.5.6.5. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Corresponde a la etapa final y su objetivo se centra en la validación de los resultados esperados con la implementación, implicará también el análisis de las nuevas condiciones de demanda de energía y servicio de los equipos involucrados en el sistema. Excepcionalmente, se considerará la necesidad de acciones de control posteriores a esta etapa, de manera programada y a efectos de identificar fallas o necesidades no previstas en la operación del sistema.

Documentos del proyecto

Corresponde a la documentación de las actividades realizadas, los planos, los protocolos de mantenimiento, los consumibles y repuestos y otros asociados a la instalación.

Resultados operativos

Se refiere a los registros de las condiciones obtenidas después de la implementación del proyecto.

Resultados económicos

Se orienta en las reducciones de demanda económica cuantificables posteriormente a la implementación.

Informe final y cierre

Corresponde a la documentación relativa al cierre del proyecto.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos y el marco conceptual del trabajo de investigación.

2.1. DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES

Según Palomino (2018), se puede decir lo siguiente sobre el diseño de plantas industriales.

2.1.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Se deben considerar los productos, que son el bien o el servicio que la empresa producirá. El volumen de producción, que se refiere a la cantidad de unidades o lotes que se espera fabricar en determinada unidad de tiempo. El flujo del producto, es decir, de qué manera se presentarán las etapas de trabajo de acuerdo con el diseño del producto. El análisis de estas tres variables permite seleccionar el sistema de producción más adecuado para la elaboración del producto o de los productos identificados para el estudio de la disposición de la planta.

2.1.2. SISTEMA DE FLUJO POR LOTES

En este sistema se produce una variedad de productos diferenciados, en distintos volúmenes. Generalmente, cada grupo de productos responde a un pedido particular, aun cuando podrían producirse también lotes para stock. El flujo se caracteriza por

elaborar el producto en paquetes o batch, y cada uno de estos se transporta en forma conjunta al área de trabajo correspondiente, donde se encuentran las máquinas o equipos que realizan operaciones similares.

2.1.3. LÍNEA DE PRODUCCIÓN

En este sistema, se lleva a cabo la manufactura de productos que se transforman a través de procesos secuenciales y también de aquellos que resultan de la unión de piezas y partes. Los volúmenes de producción son altos y los productos son estandarizados. El sistema puede estar dedicado a un solo tipo de producto, con lo cual prácticamente no se modifica. Por esta razón se le conoce también como enfocado al producto. Cada unidad de producto es elaborada con un método idéntico, por lo que la maquinaria y el equipo se colocan en línea. Para atender los altos volúmenes requeridos, se necesita la automatización de procesos.

2.1.4. SISTEMA CONTINUO

Las plantas se instalan bajo este sistema para producir un solo producto con alta demanda. En estos casos, el producto está estandarizado con especificaciones normalizadas; por lo general, son productos no diferenciados, como insumos industriales o productos intermedios. En este sistema, los productos tienden a seguir una trayectoria directa, pasando por un flujo de operación no afectado por interrupciones. Por ello, los equipos se organizan combinando las operaciones con el transporte, de tal modo que los materiales se procesan mientras se mueven. Esto hace que la flexibilidad para cambiar de productos o mezclar productos sea muy limitada o nula.

2.1.5. DEFINICIÓN DE ARQUITECTURA INDUSTRIAL

El Diccionario de la Real Academia Española dice que Arquitectura es el Arte de proyectar y construir. Basándose en la definición anterior, se puede decir que Arquitectura Industrial es el Arte de proyectar y construir Industrias o Plantas Industriales o instalaciones fabriles dedicadas a producir. En el libro del profesor Heredia, se dice que el fin principal de la Arquitectura Industrial es proyectar y construir instalaciones industriales de toda índole, en donde los edificios pueden tener carácter secundario o incluso no existir como elementos principales de la construcción y en donde todo ha de estar dirigido al cumplimiento de las necesidades impuestas por un proceso industrial de producción. Por tanto, los factores económicos son preponderantes ya que lo que se vaya a proyectar y construir es solo un medio para producir. Esta definición, evidentemente, enriquece y matiza la definición del diccionario y la propuesta anterior y en todo caso no la invalida en ningún aspecto. En cierto modo, para simplificar y para hacer más entendibles los conceptos, la Arquitectura Industrial se debe de ocupar de ordenar de acuerdo con un proceso elegido todos los elementos y obras civiles que constituyen la planta industrial, y situados en ese orden, en una ubicación, que también impone limitaciones, son capaces de producir algo. Así pues, la Arquitectura Industrial se enfrenta a la resolución de problemas que admiten infinitas soluciones. Eligiendo solo las infinitas soluciones buenas, se encontraría en todo caso, con incertidumbre y falta de seguridad en saber que entre las infinitas soluciones se ha elegido la mejor o la menos mala.

2.1.6. LA PLANTA INDUSTRIAL

Una Planta Industrial es un medio para producir algo, y normalmente situada en un entorno empresarial, condicionado a su vez por un Mercado en el cual se coloca el producto objeto de la fabricación. Según esto, y dentro de la Teoría de Sistemas, una

Planta Industrial es un subsistema del Sistema Empresa que ha de satisfacer los requerimientos de este Sistema, a la vez que los que impone su propio entorno. Todo esto da lugar a unas interacciones que dan lugar a que la Planta Industrial, y todos sus componentes, no puedan permanecer y actuar de forma independiente. El Mercado y el entorno más próximo a la Planta ejercen una gran influencia, lo cual debe ser tenido en cuenta en el diseño. Realmente una Planta Industrial es una combinación de recursos materiales y humanos que actúan ordenadamente siguiendo un Proceso de Fabricación, previamente elegido como el más idóneo para actuar en el entorno de la Planta. Lo anterior no es suficiente para justificar la existencia de una Planta Industrial, sino que, además, y precisamente por las interacciones existentes, la producción debe hacerse de una forma competitiva para asegurar su supervivencia. Esto quiere decir que la Planta Industrial debe producir lo que el mercado requiera, en las cantidades adecuadas a ese mercado y con la calidad y precio que el Mercado admita. No vale hacer una fábrica que produzca mucho de un producto, aunque sea a un costo muy bajo, si el Mercado no lo admite. Igualmente sucedería en el caso de producir demasiado poco, porque el Mercado sustituiría el producto, incluso por otro de mayor costo. Resulta que, el problema de concebir, diseñar y construir una Planta Industrial es muy complejo, y normalmente con muchas incertidumbres. Los datos iniciales de partida son el producto a fabricar, y sus cantidades a lo largo del tiempo y la calidad (especificación precisa del producto). También otro dato es el precio al cual el Mercado aceptaría el Producto. La incógnita es cómo debe ser la planta industrial, para cumplir estos requisitos, dentro de un determinado entorno, en el cual la localización juega un gran papel.

2.1.7. EL PROCESO DE FABRICACIÓN

Es lo más excluyente y definitorio. Si no hay proceso (modo de hacer), no hay producción y por tanto no habrá fábrica o Planta Industrial. Se podría definir el Proceso de Fabricación como el modo de hacer algo. Concretando el Proceso de Fabricación de un producto a partir de unas materias primas o semielaboradas significa el conjunto ordenado de operaciones unitarias a las que se tiene que someter estas materias primas o semielaboradas para llegar al producto final. ¿Cómo se define lo que es una operación unitaria a estos efectos? Pues bien, las operaciones unitarias significan los cambios de carácter físico, fisicoquímico o químico de las materias primas o productos semielaborados que se realiza en una Planta Industrial.

2.1.8. LA ECONOMÍA DEL SISTEMA

En todos los casos, bien porque el Inversor o Promotor busque una rentabilidad económica (beneficios) o bien porque busque una rentabilidad social (satisfacer a un colectivo mayor), hay que considerar la economía de los sistemas; es decir, buscar la máxima rentabilidad económica o social con la inversión mínima necesaria para cumplir esto. Los condicionantes pueden venir dados por el lado del mercado o por el lado de la limitación de los recursos. En todo caso, hay que considerar de una gran importancia la economía de los sistemas fabriles, hasta tal punto que, para elegir un proceso de fabricación, entre varios disponibles, las razones económicas pueden ser decisivas.

2.1.9. LAS CONSIDERACIONES HUMANAS

El factor humano en los tiempos actuales tiene una gran importancia, bien por la necesidad de una cualificación o bien por la necesidad imprescindible de unos determinados modos de convivencia. Por ejemplo, compañías multinacionales que

fabrican productos muy sofisticados, de alto valor añadido, eligieron Madrid para localizarse por la facilidad de encontrar ingenieros muy preparados, capaces de aprender sus tecnologías en muy corto plazo.

En los momentos actuales, se puede asegurar que la cualificación de la mano de obra, prima sobre otros factores, como la cantidad de mano de obra disponible. Esto también da lugar a que cuanto más cualificada tiene que ser la mano de obra necesaria para operar, en los puestos de trabajo de un proceso de fabricación, resulta que sus necesidades son mayores. Se recuerda que las necesidades de un obrero de la industria textil del siglo XIX son muy diferentes a las de un ingeniero fabricando microchips actualmente. En el diseño de una Planta Industrial hay que prestar una gran atención a las necesidades sociales que requiere la mano de obra dedicada a la producción, servicios auxiliares y resto de servicios que tiene una factoría.

2.1.10. LAS CONSIDERACIONES ECOLÓGICO-AMBIENTALES

Esto afecta tanto al interior como al exterior de una Planta Industrial. 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.) y también que la Planta Industrial no realice emisiones al exterior de tipo sólido, líquido o gaseoso, o incluso radioactivo, que perturben el entorno próximo o lejano de la Planta. En el supuesto de que esto sucediera habría que establecer las medidas correctoras adecuadas.

Hay que estudiar y siempre limitar el Impacto Ambiental, en el exterior de las Plantas de tal manera que la perturbación en el medio ambiente sea mínima y en todo caso aceptable.

2.1.11. CICLO DE DISEÑO DE UNA IMPLANTACIÓN

Se trata de establecer cómo se realiza una implantación, es decir los pasos que se deben dar. En primer lugar, se realizan la implantación de los equipos de proceso sobre un terreno ideal, en el área que se llamará de proceso; después, se hará la implantación de todos y cada uno de los servicios auxiliares (agua, vapor, etc.) para continuar con la implantación de los servicios de personal y, en cuarto lugar, se hará la implantación de todos y cada uno de los servicios generales de la fabricación. Como se puede apreciar lo más relevante es el proceso de fabricación. El resultado de lo anterior son una serie de implantaciones parciales teóricas realizadas sobre terrenos ideales, las cuales se deben situar después sobre el terreno real, considerando las características de ese terreno y los transportes y circulaciones exteriores necesarios que darán lugar a la implantación de conjunto o implantación general. Comenzando por la implantación de los procesos de fabricación el dato de partida es el propio proceso de fabricación, es decir, el conjunto de operaciones a realizar y la secuencia de las mismas, y los equipos que realizan las operaciones unitarias.

2.1.12. LA IMPLANTACIÓN POR ÁREAS

Cada una de las áreas mencionadas de que consta habitualmente una Planta Industrial Requiere de una Implantación teórica por sí misma de acuerdo con sus características. Después, en función del terreno disponible y los sistemas de transporte y accesos, se tuvieron que hacer la implantación general, que normalmente hará variar alguna o todas las implantaciones teóricas adoptadas para las diferentes áreas. El problema que se aborda ahora es cómo llegar a estas implantaciones teóricas de las diferentes áreas. Para las áreas de Proceso, es decir, los lugares en los que se realiza la fabricación, el punto de partida es siempre el

Proceso de Fabricación, los equipos o sistemas (unidades paquete) que van a realizar las operaciones unitarias del Proceso y las necesidades de los equipos en cuanto a espacios y sus características, los puestos de trabajo que generan y los Servicios Auxiliares que necesitan.

2.1.13. LA VENTILACIÓN EN LOS EDIFICIOS INDUSTRIALES

2.1.13.1. NECESIDAD DE VENTILACIÓN

Los lugares de trabajo se van degradando por diversas causas, tales como las emisiones del personal (respiración, sudor, olores, humedad, etc.), así como por las emisiones que producen los procesos de fabricación (polvo, gases, calor, humedad y otros elementos contaminantes). Estas emisiones, variables en cada caso, son las que hacen imprescindible la renovación del aire en el ambiente de los puestos de trabajo, para lo cual es necesario establecer una ventilación que, en términos simplificados, puede clasificarse en:

2.1.13.2. LA VENTILACIÓN NATURAL

Consiste en aprovechar la convención natural para mejorar el ambiente en un recinto cerrado, como puede ser un edificio industrial. La convención es el movimiento de las masas de aire que se produce como consecuencia de las diferencias de temperatura entre las diferentes zonas. Estas diferencias de temperatura las producen las emisiones de calor de las personas y las máquinas, así como los elementos de iluminación natural o artificial. Las masas de aire caliente tienden a ascender, por su menor densidad, y tienden a ocupar los lugares que ocupaban las masas más frías, que tienden a descender. Esta diferencia de temperaturas (diferencia de densidades) crea las corrientes de convención. Si se provocan en las partes altas de los edificios industriales salidas para el aire caliente se producirá una renovación del mismo y por tanto una ventilación natural. Realmente se está produciendo una renovación del aire

sin consumo de energía (la energía la proporcionaron los focos de calor que calentaron el aire), que será tanto más intensa cuanto más se propicien con entrada de aire frío del exterior y salidas de aire caliente en las partes más altas. Además, también se pueden producir corrientes de convección cuando una de las fachadas de un edificio está más caliente que la otra por un mayor soleamiento o incluso por la proximidad de algún equipo que desprenda calor. El aire circula de la fachada fría a la caliente porque el aire de la fachada caliente tiende a ascender. También la ventilación natural puede producirse por la diferencia de presión del aire exterior sobre dos fachadas (orientación de las fachadas). Esto suele tener carácter esporádico e impredecible, pero provoca también una ventilación natural, a veces perturbando los sistemas establecidos.

2.1.14. LA VENTILACIÓN FORZADA

2.1.14.1. VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN DE AIRE

Este sistema suele complementar la ventilación natural. Consiste en disponer en la cubierta de los edificios extractores de aire junto con rejillas en la parte baja de las fachadas, que sean capaces de permitir la entrada de aire que extraen los extractores de la cubierta. El inconveniente de este sistema, como todos los de ventilación forzada, es que conlleva un consumo energético que depende de las renovaciones de aire que se quiera tener.

2.1.14.2. VENTILACIÓN POR SOBREPRESIÓN

A veces conviene, por razones de las emisiones del proceso, invertir la posición de los ventiladores y las rejillas. También a veces conviene un ambiente de trabajo en ligera sobrepresión.

2.1.14.3. VENTILACIÓN POR SOBREPRESIÓN Y EXTRACCIÓN SIMULTANEAS

Es necesario, a veces, que el aire que se introduce del exterior tenga un cierto tratamiento previo (humidificación, odorización, recalentado, etc.) de acuerdo con las necesidades del proceso de fabricación y de los puestos de trabajo. En estos casos se suelen combinar impulsiones de aire con extracciones simultaneas. El gran inconveniente, como se dijo, es el consumo energético.

2.1.15. GENERALIDADES

Los cerramientos de un edificio industrial son la envolvente del edificio y están compuestos por: Las fachadas, Las coberturas. Según sean preferentemente verticales u horizontales.

2.1.15.1. LAS FACHADAS

De los dos grandes grupos de cerramientos, los verticales constituyen las fachadas de los edificios y son el cerramiento que dota a los edificios de su aspecto estético más característico. Se puede decir que las fachadas están constituidas por tres partes. En un edificio industrial, el zócalo recibe los mayores impactos tanto de los agentes atmosféricos, como de las personas y maquinas que realizan los procesos de fabricación. La parte intermedia de la fachada, normalmente solo recibe impactos de tipo atmosférico y la parte superior tiene la misión de enlazar con la cubierta del edificio con lo cual su misión principal es servir de soporte y canalizar las aguas de lluvia adecuadamente.

2.1.15.2. FACHADAS REALIZADAS IN SITU

Este tipo de fachadas están construidas en el lugar donde está el edificio industrial al que protegen. Están constituidas por objetos de pequeño tamaño. Tienen que resistir

los pesos propios, las agresiones meteorológicas, los impactos y a veces también los esfuerzos de algún forjado que apoya en estas fachadas.

2.1.15.3. PANELES DE CHAPA METÁLICA

Se fabrican a partir de bobinas de chapa laminada en frío de diferentes espesores y con diferentes acabados. Normalmente se les dota de pliegues para dar rigidez (grecas) y siempre necesitan una estructura auxiliar, hecha a base de correas, para constituir el cerramiento. Hay diferentes tipos según la configuración que presenten. Los paneles de chapa simple consisten en una sola hoja de chapa plegada, que le da rigidez, frente a los esfuerzos perpendiculares al plano de la fachada. Esta chapa se sujeta en la estructura auxiliar la cual canaliza los esfuerzos horizontales del viento a la estructura principal, además de servir de soporte. Su uso está condicionado por la falta de aislamiento y por tanto no es recomendado para donde hay personal trabajando. Los paneles de chapa doble están constituidos por dos chapas una cara interior y otra cara exterior, ambas grecadas. Esta solución es la utilizada para edificios industriales de proceso o de servicios auxiliares. Como se indicaba antes, es frecuente dotar a este tipo de fachadas de un zócalo alto (1,5/2 metros de altura) para absorber los impactos. Los paneles de chapa doble con aislamiento son la solución típica para un edificio industrial con un aislamiento normalmente rígido o semirrígido en el interior de las dos chapas grecadas. Hay muchas variedades de greca y de acabado de la chapa, así como de tipos de aislamiento (poliuretano, lana de roca, etc.). Otras soluciones de cerramiento de fachadas, como paneles de plástico, muros cortina, paneles de madera, etc., que existen en el mercado, tienen muy poca utilización en edificación industrial.

2.1.15.4. LAS CUBIERTAS EN LOS EDIFICIOS DE PLANTAS INDUSTRIALES

Las cubiertas realizan la función de proteger a los edificios de los agentes exteriores. Es decir, esta función de protección alcanza los siguientes aspectos:

Protección frente a la lluvia y la nieve, dotando a los edificios de la estanqueidad necesaria, a la vez que proporcionando el drenaje de esta agua de lluvia o la procedente de la nieve derretida.

Protección frente al viento, evitando el paso violento del aire en el interior de los edificios, además proporciona la correspondiente sujeción de sus elementos y también a la vez evita los fenómenos de succión y corrientes que el aire produce a altas velocidades.

2.2. GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Según Pecoraio (2018), se puede decir lo siguiente sobre la gestión de residuos industriales.

2.2.1. TIPOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Los residuos industriales son aquellos generados por las actividades industriales. La definición de residuos industriales está recogida en la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Dependiendo del tipo de proceso que se lleve a cabo, y de su peligrosidad, los residuos se suelen dividir en tres grupos: inertes, asimilables a urbanos, peligrosos.

Los residuos inertes, son aquellos que no contaminan el medio ambiente ni perjudican la salud. La definición de residuo inerte queda recogida en el R.D. 1.481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. De este modo, los residuos inertes derivados de las

actividades industriales se componen básicamente por piedras, tierras, materiales cerámicos, etc., por lo general, considerados residuos no peligrosos.

Los residuos asimilables a urbanos, son aquellos que, tanto por su composición como por sus características, se consideran similares a los residuos sólidos urbanos (por ejemplo, residuos textiles, material de oficina, residuos-orgánicos de comedores, etc.). Entre ellos se pueden encontrar, por ejemplo: restos de materias primas, envases y embalajes, restos orgánicos, etc.

Los residuos peligrosos, son aquellos que tienen algún tipo de peligrosidad y que pueden generar riesgos para la salud y el medio ambiente. La definición de residuo peligroso, queda recogida en el Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

2.2.2. FUENTES Y PRODUCCIÓN

Las fuentes de producción de los residuos industriales son varias, y los residuos generados dependerán de las actividades que se lleven a cabo, así como del tipo de materias primas y de los procesos utilizados. La Clasificación Nacional de Actividades Económicas divide las actividades industriales en tres grupos:

Industrias extractivas, son las que realizan excavaciones subterráneas o a cielo abierto para extraer materias primas (por ejemplo, minerales metálicos, piedras, minerales para productos químicos, etc.). Los residuos serán en su mayoría inertes o rechazo, aunque también pueden ser otros tipos de materiales, peligrosos y no peligrosos.

Industrias manufactureras, son aquellas en las que se transforma la materia prima para producir productos (por ejemplo, alimentos, tabaco, muebles, etc.). Los residuos serán en su mayoría restos de materias primas y asimilables a urbanos, así como

una gran cantidad de residuos peligrosos (por ejemplo, aceites, residuos químicos, lodos, etc.).

Suministro, son aquellas que producen, transportan y distribuyen energía eléctrica (por ejemplo, centrales eléctricas, térmicas, nucleares, etc.). Los residuos serán tanto peligrosos como no peligrosos.

2.2.3. GESTIÓN INTERNA DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES

La gestión interna de los residuos industriales es el conjunto de operaciones que se llevan a cabo en las instalaciones donde se generan los residuos (por ejemplo, recogida, tratamiento, etc.). Para la gestión interna es necesario tener en cuenta varios aspectos:

Minimización, es el conjunto de procesos y políticas para reducir la cantidad de residuos producidos, y se refiere tanto a la minimización de recursos como de la energía durante la producción.

Reutilización, es el conjunto de acciones y operaciones para que productos y bienes se vuelvan a utilizar. La reutilización se puede llevar a cabo para distintos tipos de residuos.

Compactación, es el conjunto de operaciones necesarias para la reducción del volumen de los residuos, incidiendo en la reducción de los costes de la gestión de los mismos.

Etiquetado, el etiquetado es el procedimiento que asegura una correcta gestión de los residuos ya que permite su identificación a lo largo de todo el proceso, evitando además que los residuos se mezclen accidentalmente entre sí.

Almacenamiento, es el procedimiento por el cual se almacenan bienes y productos en un lugar o espacio físico, para su posterior tratamiento.

Importancia de la minimización, como ya se ha comentado, la minimización es el conjunto de acciones que se llevan a cabo para reducir la cantidad de residuos producidos. Su importancia radica en los beneficios que implica a varios niveles, para las empresas, los organismos públicos o privados y la sociedad en general.

2.2.4. GESTIÓN EXTERNA DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES

La gestión externa de los residuos industriales es el conjunto de operaciones que se llevan a cabo a partir del momento en que el productor entrega los residuos a los gestores autorizados para su tratamiento. Para la gestión externa es necesario tener en cuenta varios aspectos:

Reciclaje, es el conjunto de acciones y políticas llevadas a cabo para convertir los residuos en nuevos productos recuperando materiales útiles, reduciendo de este modo el consumo de recursos naturales. Para que la gestión externa sea más eficaz sería conveniente llevar a cabo la separación en origen, evitando que los residuos se mezclen y reduciendo así la contaminación de los materiales. Cuando ello no sea posible, las empresas gestoras deberán llevar a cabo una serie de operaciones de acondicionamiento previo (por ejemplo: descontaminación, lavado, trituración, etc.).

Almacenamiento en vertedero, los vertederos controlados son emplazamientos preparados para contener residuos con distintas características, de manera controlada bajo tierra o en superficie. En el caso de los residuos industriales es necesario distinguir según el tipo de residuos:

- Residuos sin problemas de toxicidad, peligrosidad o radiactividad.
- Residuos peligrosos, tóxicos o radioactivos.

Preparación para reutilización, operación de valorización consistente en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.

Reciclado, toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.

Otro tipo de valorización, incluida la energética, cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general.

Eliminación, cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía.

2.3. AISLAMIENTO TERMICO EN LA CONSTRUCCION

Según Azqueta (2017), se puede decir lo siguiente sobre el aislamiento térmico en la construcción:

2.3.1. CAMBIO CULTURAL Y NUEVOS PARADIGMAS

En mi opinión, la arquitectura y el diseño urbano requieren hoy de nuevos paradigmas que expresen estos condicionantes que se tornarán cada día más acuciantes, trascendiendo el mero maquillaje para dar lugar a un nuevo canon arquitectónico.

Se deberá imaginar un nuevo lenguaje arquitectónico que exprese de alguna manera, los inmensos desafíos globales a los que se está enfrentando y las acciones que se está dispuesto a realizar para afrontarlos, donde la creatividad responsable deberá imponerse a una vacua y extemporánea "originalidad".

La energía es hoy un bien escaso y los recursos no renovables como el gas y el petróleo (de los que ya no se autoabastece, sino que se debe en parte importar a costos de miles de millones de dólares anuales), constituyen aproximadamente el 90% de la matriz energética primaria del país. El horizonte de reservas es de muy corto plazo y su agotamiento, o la inviabilidad económica de obtenerlos debido al creciente costo generado por el incesante aumento de la demanda mundial, están a la vuelta de la esquina.

2.3.2. CUÁNTO, CÓMO Y DÓNDE AISLAR

Algunos aspectos prácticos a tener en cuenta para cumplir con los objetivos de la ley y sus costos.

Tal como ya se expresará, toda nueva construcción o reforma de una existente o fabricación de partes a ser montadas, deberá cumplir con ciertas exigencias entre las que se podrían destacar la de niveles mínimos de aislación térmica en muros y techos. verificando que sus correspondientes valores de K (transmitancia térmica) sean igual o menores a los valores de K máximo admisible que para el Nivel B (medio) establece la Norma IRAM 11605, tanto para las condiciones de invierno como para las de verano.

Ahora bien, como la provincia de Buenos Aires presenta dos Zonas Bioclimáticas (IRAM 11603): al norte la Zona III Templado Cálida y al sur la Zona IV Templado Fría, para definir los valores del K máximo admisible de los muros será necesario saber las temperaturas mínimas de diseño de la localidad (que figuran en tablas de la norma antes citada).

De todas maneras, en la práctica, para verificar las exigencias de la norma, basta con la simple incorporación de un aislante adicional de 2 a 3,5 cm a los muros tradicionales sin aislación (sean estos de ladrillo macizo, bloques cerámicos huecos estructurales, bloques de hormigón, etc.).

Desde el punto de vista económico, esta es la porción de la envolvente que puede requerir un costo adicional (además del poco significativo del aislante), toda vez que supone alguna solución complementaria para contener o instalar el aislamiento térmico requerido. Aun así, no se puede olvidar que los muros exteriores de una vivienda exenta (sin compartir medianeras) están en el orden del 40% del total de la envolvente cuando la misma está resuelta en una única planta, valor éste semejante al del techo si éste es inclinado. Para los techos en general, la condición más exigente es la del verano, pero estará también condicionada por la reflectancia de la cubierta (definida básicamente por su color).

2.3.3. CALOR, TEMPERATURA Y EQUILIBRIO TÉRMICO

El calor es energía en tránsito entre dos sistemas o entre un sistema y su entorno debido a una diferencia de temperatura entre estos.

La temperatura es una propiedad física de la materia que, cuantitativamente expresa las nociones comunes de calor y frío. Objetos que poseen baja temperatura se perciben fríos, mientras que a diversos grados de temperaturas más altas se los

percibe tibios o calientes. La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema. El calor siempre fluye desde el cuerpo o sistema de mayor temperatura hacia el cuerpo o sistema de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

2.3.4. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA TÉRMICA

La conductividad térmica es el flujo de calor transmitido a través de un material de espesor unitario por unidad de área, cuando el gradiente de temperatura sea unitario. Su símbolo es λ y su unidad (resultado de la simplificación del espesor y el área) es $W/m.K$, depende de la naturaleza del material y del rango de temperatura.

2.3.5. RESISTENCIA TÉRMICA Y RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES

En el campo del aislamiento térmico de edificios y en régimen estacionario (en el que las condiciones permanecen estables a lo largo de un tiempo y existe proporcionalidad entre la diferencia de temperatura de uno y otro lado de un elemento constructivo y el gradiente de temperaturas dentro del mismo), la resistencia térmica para placas planas es el cociente entre el espesor e y la conductividad térmica. Su unidad es $m^2.K/W$.

2.3.6. TRANSMITANCIA TÉRMICA

La transmitancia térmica K (simbolizada en algunos medios con "U") es el cociente entre el flujo de calor en régimen estacionario y el área y la diferencia de temperatura entre los medios circundantes a cada lado del sistema. Su unidad es $W/m^2.K$.

Conducción, para que se dé una transferencia de calor, dos elementos (o dos regiones dentro de un cuerpo), deberán estar a diferente temperatura y entonces el calor fluirá siempre de la zona de mayor temperatura a la que está más fría. La

magnitud del flujo dependerá de la diferencia de temperatura y, en un sólido, además, de su conductividad térmica.

Convección, es la transferencia de calor por movimiento de la masa de un fluido (líquido o gaseoso) de una región a otra del mismo.

Radiación, es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas como lo son, entre muchas otras: la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta y los rayos X.

2.3.7. LA IMPORTANCIA DE LA INERCIA TÉRMICA EN LA CONSTRUCCIÓN

Como estrategia de diseño pasivo, los edificios de alta inercia son adecuados para climas de grandes amplitudes térmicas diarias (climas mediterráneos y de montaña), que se dan en general, en regiones alejadas de grandes masas de agua y, consecuentemente, con elevada heliofanía. Otra condición necesaria, es que los locales sean de uso permanente.

El calor generado por las altas temperaturas y la elevada Irradiación solar que se dan durante el día, generan un pulso térmico que se va desplazando hacia el interior (que permanece fresco) actuando la masa térmica de la envolvente, como un virtual acumulador de energía térmica y un retardante de la variación de la temperatura ambiente. Al descender ésta, parte del flujo invierte su dirección al encontrarse tanto la t_i como la t_e por debajo de la temperatura interior del elemento. No obstante, varias horas después en que ocurrió el pico de temperatura parte de la energía térmica llega al interior del local colaborando en la calefacción natural del mismo.

Cuando, por el contrario, los locales son de uso eventual, la elevada inercia térmica de un cerramiento pesado no resulta adecuado, toda vez que de ser necesario su acondicionamiento térmico, su puesta en régimen demandará muchas horas e

incluso días, consumiendo una excesiva cantidad de energía para alcanzar mínimas condiciones de confort.

2.4. MARCO CONCEPTUAL

2.4.1. MATERIA PRIMA

2.4.1.1. ALGODÓN

La materia prima predominante para el proceso productivo, el algodón, se identifica y selecciona de acuerdo a su procedencia y propiedades. En el medio se disponen esencialmente de cuatro variedades para el proceso:

El algodón tangüis, de procedencia nacional, específicamente procedente de la costa central y sur del país, caracterizado por una fibra larga y resistente, presenta reducido porcentaje de fibras cortas, su proceso de cosecha, selección y embalaje proporciona una materia prima con contaminación por polvo, arena y abundantes semillas. Presenta además excelente homogeneidad de color y reducido contenido de resinas y aceites.

El algodón pima, también de procedencia nacional, proviene de la costa norte del país, a diferencia de la variedad tangüis, presenta fibras de menor longitud promedio y de mayor docilidad, para esta variedad, la contaminación resaltante consiste principalmente en un elevado contenido de resinas y aceites propios de la planta, sus semillas y del mismo material. Es posible encontrar en el mercado, algodón de procedencia extranjera con características de algodón pima, por lo que su valoración resulta similar a la del nacional.

El algodón denominado americano, procedente de américa del norte es uno de los más abundantes en el mundo y, por temas comerciales y geográficos, de mayor disponibilidad en el medio. Se compone de fibras de longitud y resistencia promedio,

posee certificaciones de calidad de procesos que garantizan homogeneidad de la materia prima, reducido número de contaminantes biológicos, y una estructura de costo con menor dependencia estacional que le confieren un mejor valor asociado a la disponibilidad. Además de la contaminación por polvo, semillas, resinas y aceites, esta variedad puede presentar contaminación asociada a manipulación inadecuada de su embalaje.

El algodón de procedencia oriental, que presenta un menor valor comercial debido a componerse de fibras de menor longitud promedio y elevado porcentaje de fibras cortas y polvo de fibra. No presenta mayor contaminación debida a agentes extraños comparativamente con materia prima de otras procedencias, sin embargo, presenta un elevado porcentaje de desperdicios conformado por fibra inadecuada para los procesos de hilatura. La disponibilidad en el medio de esta variedad es reducida, ya que la importación de la misma resulta económicamente óptima como producto intermedio y no como materia prima de hilatura.

2.4.1.2. OTROS MATERIALES

Con enfoque en la reducción de costos y la obtención de productos adecuados a la demanda, se realizan mezclas de algodón con otros materiales, los cuales le confieren al producto del proceso las características específicas según se requiera.

Estos materiales se denominan comúnmente fibras sintéticas, y le confieren propiedades específicas al hilado complementando características y propiedades del algodón. Son derivados del petróleo y producto de actividades productivas del ser humano.

2.4.1.3. PROCESO DE HILATURA DE ALGODÓN Y MEZCLAS

El proceso de hilatura de algodón consiste en alinear y ordenar las fibras de la materia prima en un delgado y compacto hilo, el cual está conformado por una cantidad determinada de fibras unidas entre si únicamente por la torsión de las mismas, siendo que fibras más largas permiten la producción de hilados más delgados, al ser necesario un menor número de fibras para obtener valores de resistencia adecuados, las fibras largas permiten también hilados más resistentes en una misma densidad de fibras, constituyendo un producto de mejor calidad.

La docilidad de las fibras de la materia prima se encuentra asociada a la textura y el acabado final del hilado, y consecuentemente de los productos que con él se elaboran, constituyendo otro factor de la calidad del hilado producto del proceso de hilatura.

Las fibras de menor longitud, y aquellas con elevada tendencia al quiebre, son aprovechadas en la elaboración de hilados de mayor espesor, o su correspondiente denominación, de mayor título, su proceso de conversión en hilo, demanda condiciones de proceso específicas y que difieren en ciertos aspectos de la producción de otros hilados.

En general, el proceso de hilatura es específico para un determinado título de hilo y una determinada materia prima, asimismo, el proceso de hilatura demanda condiciones distintas para la obtención de hilados de algodón e hilados que incluyen fibras sintéticas en su composición.

Es posible afirmar que producto de las variedades disponibles del algodón como materia prima y de las fibras sintéticas disponibles para elaborar mezclas virtualmente incontables, una hilandería enfrenta infinitas posibilidades de

composición del hilado, convirtiéndose en el factor limitante el producto objetivo para el cual ha sido configurada la planta de hilandería, ya que al ser tan amplia la posibilidad de composición del producto, no existe equipamiento capaz de procesar hilados sin restricciones aplicables al proceso productivo.

Por lo precedente, una planta de procesos textiles, para el caso de estudio específico, una hilandería, debe ser conceptualizada y configurada tomando en consideración diversos factores, los cuales en su conjunto deben constituir las instalaciones óptimas para el procesamiento de la materia prima disponible y los productos que se desean obtener.

2.4.1.4. MERCADO Y PRODUCTO

El mercado para los hilados de algodón es extenso y se encuentra disperso alrededor del mundo, para el caso de estudio, el Perú se presenta como una plaza viable para el establecimiento de plantas de hilandería, factores como la producción de algodón de calidad de forma local, facilidades portuarias para el comercio de materia prima y productos, demanda interna del hilado debido a la importante oferta de servicios de confección y acabados textiles, cercanía a otros países que demandan hilados para sus procesos productivos, clima aceptable para las necesidades del proceso, entre otros, mantienen la viabilidad económica para el desarrollo de hilanderías en el país.

El producto del proceso productivo no constituye uno de oferta al consumidor final, por el contrario, representa la materia prima básica para la elaboración de tejidos y confecciones, por lo que depende directamente de una demanda primaria básica, respondiendo además a especificaciones definidas en base a la necesidad de los demandantes del hilado. Es inusual el desarrollo de nuevos hilados desde la hilandería, por el contrario, la concepción de un nuevo hilado suele iniciar en el diseño

del tejido o de la prenda terminada, convirtiendo a la hilandería en un proveedor a medida, orientado a satisfacer la necesidad específica del cliente.

Sin perjuicio de lo precedente, los mercados demandan recurrentemente determinados hilados, existiendo una demanda constante de títulos y torsiones que prácticamente pueden ser considerados estandarizados, condición que posibilita predecir una demanda sostenida y consecuentemente un producto y un proceso productivo estandarizado.

2.4.1.5. DESPERDICIOS Y SUBPRODUCTOS

El proceso productivo de los hilados, implica la manipulación y procesamiento de materia prima natural, la cual genera desperdicios. Estos desperdicios se conforman básicamente de residuos no utilizables del propio algodón, cáscaras de semillas, polvo, trozos de hojas y ramas, arena, y algunos otros contaminantes naturales o sintéticos que inevitablemente se asocian a la materia prima durante su manipulación, y terminan ingresando en las instalaciones de las plantas de procesamiento y los equipos involucrados.

La operación de una planta de hilandería debe considerar el manejo de los residuos y su disposición final, los cuales presentan reducidos riesgos ambientales si son manejados y dispuestos de forma adecuada, llegando incluso a ser aprovechables con propósitos que no representan interés del presente estudio.

En un punto medio entre el producto y los desperdicios, se encuentra el proceso de subproductos con valor comercial, algunos con más valor que otros. Los primeros subproductos identificados resaltan debido a que son factibles de convertirse en materia prima para la propia hilandería, a decir pequeños lotes de prueba de procesos parciales, resmas originadas por procesos de calibración de equipos o por

falta de calibración de los mismos, y en el extremo excesos de lotes por factor de seguridad o motivos similares, se convierten en materia prima aprovechable de forma directa en la planta.

Resaltan entre los subproductos, el hilado terminado depurado por los equipos y ocasionalmente el hilado que no cumple las especificaciones requeridas, al cual se denomina comúnmente waype, que constituye un producto demandado por el mercado, condición que permite reducir las pérdidas asociadas al mencionado subproducto.

Finalmente se encuentran aquellos subproductos que no son aprovechables en el proceso productivo, ni presentan valor comercial significativo, estos se encuentran conformados entre otros, por un significativo porcentaje de fibras que, presentan condiciones inaceptables para ser convertidas en producto. Fibras muy cortas, fibras enredadas y brotes incompletos conforman principalmente estos subproductos. Sin embargo, estos subproductos presentan un valor comercial, al ser demandados por hilanderías especializadas en su procesamiento, con aplicaciones de uso final beneficiosas.

2.4.2. PLANTA INDUSTRIAL

2.4.2.1. FORMA, MATERIALES Y DISPOSICIÓN

La planta es la encargada de brindar protección frente al clima y proporciona las condiciones apropiadas a los equipos y la materia prima que se encuentra en proceso, su forma va a depender de la proyección de la planta y del producto que se espera obtener de la misma, otro factor a considerar para determinar la forma de la planta es la facilidad disponible para su construcción y puesta en funcionamiento.

Los materiales de construcción de una planta de procesos de hilatura van a ser dependientes también del producto que se planifica obtener, a decir, una producción de elevada calidad demandará instalaciones con un elevado nivel de protección y consecuentemente un mayor costo de construcción; naves de construcción menos elaborada presentarán restricciones para la obtención de mayores estándares de calidad asociados al producto.

La disposición de los equipos en planta y el diagrama de flujo de la materia prima y los productos parciales son determinantes en la productividad y rentabilidad de la misma, los procesos productivos de una hilandería presentan requerimientos específicos que varían a lo largo de la línea de producción, por lo que deben ser tomados en consideración a fin de optimizarlos en la medida que la forma y el tamaño del área disponible lo permitan.

2.4.2.2. CONDICIONES ÓPTIMAS

Las especificaciones del hilado incluyen las condiciones ambientales aceptables para su producción y almacenamiento; la materia prima elegida, sus condiciones de humedad y contaminación esperadas, la temperatura promedio del lugar donde se ubica la planta, la variación de temperatura por efecto estacional, la humedad ambiental, la contaminación del aire, la cercanía a zonas costeras, y hasta la altitud de la ubicación geográfica de la planta de procesos textiles influyen en la calidad del proceso y del producto, por lo que será necesario aislar o controlar los factores externos de la ecuación de funcionamiento de la planta y del proceso productivo del hilado.

2.4.2.3. CONTROL DE CONDICIONES

En el medio, y específicamente para la producción de hilados de mayor calidad, resulta necesario controlar las condiciones al interior de las instalaciones de la planta

donde se realiza el proceso productivo, para ciertas ubicaciones será necesario controlar las condiciones de almacenamiento de la materia prima, inclusive.

El control de condiciones para el proceso de hilatura se refiere básicamente al mantenimiento de la temperatura dentro de un rango determinado y al control de la humedad dentro de un rango aceptable para el proceso y la operación de los equipos; se debe considerar además los contaminantes que deben ser evacuados del ambiente de trabajo, la composición aceptable del aire y su velocidad dentro de la planta, por lo que se debe considerar que es necesario evacuar aire viciado y aire calentado, observando y controlando también la presión barométrica en el interior de las instalaciones.

El control de las condiciones constituye un costo de operación, que finalmente debe ser trasladado al precio de comercialización del producto, por lo que una mayor demanda de recursos para el control de las condiciones, necesariamente representará un mayor costo asociado a la producción del hilado. En este punto se identifica que el control de condiciones debe ser conducido al menor costo posible, siendo que el efecto de toda acción realizada debe ser valorado en base a su impacto en el costo del producto.

2.4.2.4. AISLAMIENTO Y CONDUCTIVIDAD

Plantas de producción de hilados construidas con materiales de características de aislamiento térmico deficientes, demandarán mayor inversión y mayor consumo de energía en el control de las condiciones ambientales, como contra parte materiales de construcción capaces de aislar de forma más eficiente el ambiente representan una inversión inicial mayor en infraestructura.

Se puede afirmar entonces que la capacidad de aislamiento térmico de una planta industrial representa parte importante del sistema de control de condiciones, ya que parcialmente determinará el dimensionamiento de equipos y la demanda de energía asociada a la conductividad térmica, constituyendo un factor del costo de inversión, de operación y de mantenimiento de los equipos encargados del control de condiciones.

En el medio existen diversas configuraciones de construcción de plantas industriales, siendo que las mismas responden a diversos factores considerados para su construcción, situación que constituye diversas necesidades asociadas al control de condiciones.

2.4.3. EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA EL PROCESO

2.4.3.1. EQUIPOS PRINCIPALES

Se consideran equipos principales a aquellos que presentan un contacto directo con la materia prima o el producto, siendo que ejercen una acción del proceso de forma directa, nuevamente dependerán de la materia prima y del producto de la planta de hilatura, sin embargo, es posible identificarlos y agruparlos respecto de la tarea que cumplen en el proceso productivo.

Se identifica un primer grupo de equipos encargado de ingresar la materia prima a la línea de proceso y realizar su limpieza inicial, estos equipos tienen la tarea de combinar la materia prima en una acción inicial de homogenización del material, tomando mayor importancia en los casos de procesamiento de materia prima de diferentes variedades. En esta etapa se procesa la materia prima utilizando el transporte por suspensión en corrientes de aire controladas, ya que constituye la forma óptima del transporte del material durante los procesos. Estos equipos

entregan materia prima seleccionada de acuerdo a los requerimientos para la producción y además entregan un primer grupo de desperdicios y subproductos denominados de limpieza.

Un segundo grupo de equipos puede estar presente en una hilandería, y se conforma de aquellos encargados de ingresar en la línea de producción los materiales sintéticos que se desean añadir al hilado, se agrupan de forma separada debido a que se caracterizan por no ejercer una tarea de limpieza, limitándose al ingreso del material sintético y su dosificación en la mezcla de la línea. Es posible utilizar estos equipos para el ingreso de materia prima de reciclaje del proceso productivo, aprovechando sus características de dosificación.

Un tercer grupo de equipos se encarga de convertir la materia prima suspendida en las corrientes de aire en un producto intermedio que presenta características que posibilitan su almacenamiento y traslado sin necesidad de la asistencia del transporte neumático, consecuentemente en este punto se reduce el costo de manipulación de la materia prima, pero se ve incrementada el área que ocupa el material dentro de la planta. Se puede considerar también como parte de este grupo el equipamiento encargado de homogenizar este producto intermedio. Estos equipos aíslan también desperdicios y diversos subproductos, los cuales son evacuados mediante transporte neumático y ocasionalmente de forma manual.

Un cuarto grupo de equipos le confiere a la materia prima características no reversibles, ya que se encargan de procesar las fibras aplicando una acción de torsión, y en algunos casos la inclusión de otros materiales, que imposibilitan el reproceso o su reutilización como materia prima en los grupos de equipos previos. El porcentaje de desperdicios generado por estos equipos es menor en comparación con los procesos anteriores, ya que no constituye su función principal la limpieza de

la materia prima, entregando un subproducto que, por efecto de la demanda del mercado, se puede considerar escaso. Este grupo de equipos entrega el producto final del proceso de hilatura, el cual puede ser comercializado directamente o puede ser sometido a algún otro proceso adicional previamente a su comercialización.

2.4.3.2. EQUIPOS AUXILIARES

Se agrupan en esta sección aquellos equipos indispensables para el proceso, pero que no ejercen una acción directa sobre la materia prima ni el producto, encargándose prioritariamente de la asistencia a los equipos de primera línea o principales.

Los equipos de manipulación y traslado de materia prima, desperdicios y producto terminado constituyen un grupo de equipos auxiliares, encargados de abastecer la materia prima al inicio de la línea de producción y mantener disponible los espacios asignados para la recepción del producto, los subproductos y los desperdicios. El dimensionamiento de este grupo de equipos dependerá de la capacidad de producción de la planta y de su configuración, así como de las instalaciones y facilidades asociadas al almacenamiento.

Los equipos de asistencia, se encargan de propiciar o poner a disposición de los equipos principales condiciones asociadas a su funcionamiento, en el proceso de hilatura destacan los encargados del abastecimiento y transformación de energía, de generación de aire comprimido, de circulación de aire para transporte neumático, de separación de fibras y, en casos de plantas de hilatura mejor equipadas, de transporte automatizado de productos intermedios. La eficiencia y eficacia de estos equipos influye directamente y determina condiciones de disponibilidad de los equipos principales, posibilitando elevar la productividad de la planta, o en todo caso

no representar un factor limitante cuando el dimensionamiento de los mismos responde a las necesidades de la línea de producción y sus equipos principales.

Otro grupo de equipos auxiliares especializados se encarga del control de calidad de la materia prima, de los productos intermedios, del producto final, de los procesos y de las condiciones de la planta. Lo conforman equipos sensibles y que no intervienen directamente en el proceso productivo, constituyendo herramientas de control de calidad. Resultan indispensables para un adecuado control y representan costos asociados al proceso productivo, requieren además de personal capacitado en su utilización y en la interpretación de la información obtenida.

2.4.3.3. EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

Representan los de mayor interés en el presente estudio, dentro del proceso de hilatura se encargan de propiciar las condiciones climáticas de la planta industrial, conforme a los requerimientos aplicables. Son dimensionados y seleccionados de acuerdo a los requerimientos del proyecto, considerando el tipo de materia prima y la calidad de producto final deseada, las dimensiones y características de los ambientes de la planta, las condiciones climáticas de la ubicación geográfica, el volumen de producción, y los requerimientos que pueden ocasionar los demás equipos de la planta.

Se consideran tres aspectos de control: la temperatura, la humedad, y la presión dentro del ambiente controlado. El factor prioritario para la determinación de las condiciones es el requerimiento del proceso y del material que se encuentra en el proceso, para el caso de la planta de hilandería, los requerimientos de climatización varían a lo largo de la línea de producción, por lo que los equipos y el sistema en su conjunto deben estar en capacidad de atender dichos requerimientos.

Se utilizan diversas formas de controlar las variaciones en los requerimientos de climatización dentro de la planta, usualmente el control se aplica de en menor medida al inicio y fin de la línea, ya que los requerimientos del proceso lo permiten, reduciendo el requerimiento de equipamiento y posibilitando la reducción de costos. Para el caso del laboratorio, los requerimientos son más específicos, por lo que usualmente requieren de un nivel de aislamiento mayor a fin de mantener las condiciones debidamente controladas.

La selección y disposición de los equipos de climatización existentes en la planta materia del estudio responde al dimensionamiento obtenido por el estudio respectivo, por lo que no representa materia del presente trabajo analizar o validar su funcionamiento ni su capacidad. Se identifica que los equipos existentes se encuentran en la capacidad de realizar su trabajo debidamente, sin representar limitaciones o interrupciones en el proceso productivo.

Los equipos de climatización realizan un trabajo necesario e importante para el proceso productivo y el producto, demandan inversión inicial, energía para su funcionamiento, recursos para su operación y mantenimiento, y presentan requerimientos de servicio y reemplazo asociados al tiempo y las horas de funcionamiento. Sin embargo, su aporte en el proceso no es identificable a simple vista, ya que no intervienen directamente con la materia prima ni el producto, ni se identifican indispensables para el funcionamiento de los demás equipos. Dicho de otra forma, es usual considerar que el proceso productivo de la hilandería puede realizarse sin climatización, y realmente es posible, convirtiendo el clima en el factor limitante para la operación.

Sin climatización, en las condiciones geográficas y climáticas, la hilandería se mantendría inoperativa durante las noches, esperando alcanzar una temperatura

aceptable para iniciar sus actividades en el transcurso de la mañana. Durante el verano iniciaría sus actividades temprano, luego se encontraría obligada a paralizar durante las horas de mayor temperatura, para reiniciar un tramo de operatividad durante la tarde, hasta que nuevamente la noche sea lo suficientemente fría para obligar a suspender el proceso nuevamente. Durante el invierno, se consideraría viable un único tramo de operatividad, en los días que una mayor temperatura permitiera las condiciones mínimas necesarias para el proceso. Entendiendo la implicancia económica que representa, es que se justifica la necesidad del sistema de climatización para la operación de la planta de hilandería.

2.4.3.4. EQUIPOS DE ILUMINACIÓN

Los procesos a lo largo de la línea de producción de la hilandería requieren la intervención humana directa, en algunas instalaciones y en algunos procesos más que en otros, pero hasta la actualidad, resulta inevitable la presencia del factor humano dentro de la planta de hilandería. Para mantener la eficiencia y eficacia de la intervención humana, así como para cumplir los requerimientos de iluminación asociados al puesto de trabajo, resulta imprescindible contar con equipos de iluminación adecuados a cada proceso en todas las instalaciones de la planta industrial.

Los equipos principales operan permanentemente procesando materia prima o productos intermedios según su función, los valores asociados a su funcionamiento y obtenidos mediante los sistemas de control disponibles, necesitan ser constantemente contrastados y oportunamente calibrados, además de la asistencia naturalmente necesaria a los equipos, constituyen la necesidad de que el área de instalación de estos equipos disponga de una adecuada iluminación.

De forma similar, los equipos auxiliares requieren el control directo y la intervención humana para su operación, constituyendo también requerimientos de iluminación adecuados a las actividades asociadas a su funcionamiento.

Los equipos de climatización operan en ausencia del factor humano, por lo que su operación no representa requerimientos mayores de iluminación, constituyendo únicamente la necesidad en puntos de inspección de funcionamiento. Sin embargo, las actividades de instalación y mantenimiento si requieren la intervención humana, y consecuentemente la iluminación resulta necesaria para las actividades mencionadas.

Se indica entonces que el funcionamiento de la planta de hilandería requiere diversas soluciones de iluminación, las que se determinan también durante la etapa de diseño e instalación. Para el presente estudio, resulta de interés la ubicación de los equipos de iluminación y los efectos asociados a su funcionamiento, a fin de identificar su influencia en el sistema de climatización y las posibilidades de mejora que involucran estos equipos.

2.4.4. MANTENIMIENTO

2.4.4.1. DIMENSIONAMIENTO

Años atrás, las hilanderías disponían de instalaciones, equipamiento y personal de mantenimiento capaces de atender virtualmente todas las necesidades de la planta y su equipamiento. En la actualidad, ese modelo es económicamente inviable, ya que implica destinar recursos a actividades que no generan ingresos a la operación. Se requería ambientes e infraestructura, equipamiento específico, personal especializado y otros que no justifican su existencia dentro de la planta estudiada.

El mantenimiento en la hilandería, reorientado a su necesidad imprescindible, se encarga de las acciones preventivas y predictivas requeridas por el equipamiento principal y auxiliar, configurando un sistema que atiende necesidades periódicas, y que facilita una primera etapa de tareas de mantenimiento de mayor envergadura. Esta configuración permite la reducción de los costos fijos del sistema de mantenimiento, contribuyendo en una operación de la planta industrial a un menor costo.

2.4.4.2. IMPACTO EN EL PROCESO

En este punto específico, el mantenimiento asociado a los equipos de climatización debería representar el de menor impacto en la producción, ya que virtualmente es posible prescindir del sistema, sin embargo, para el caso de la hilandería materia del presente estudio, y en general de la mayoría de hilanderías, el sistema de climatización se encuentra asociado al de limpieza y transporte neumático de la materia prima, desperdicios y sub productos, por lo que para la programación de las actividades de mantenimiento del sistema de climatización, se considera el impacto de disponibilidad sobre los equipos principales, auxiliares y su consecuente repercusión en la producción de la planta.

Una programación de mantenimiento eficiente, a mayores intervalos y con mayores recursos a disposición de la tarea específica, definirá menores tiempos requeridos para la actividad, configurando un menor tiempo de inoperatividad de los equipos atendidos y consecuente un menor costo asociado a la tarea.

2.4.4.3. PERSONAL ESPECIALIZADO

Específicamente para el caso del mantenimiento, exceptuando al personal de limpieza, se identifica que resultan encargados de la mayor diversidad de actividades dentro de la planta. Sus actividades se realizan principalmente en equipos que se

disponen temporalmente fuera de funcionamiento para tal fin, representando que el tiempo empleado en cada mantenimiento, programado o no, significará la inoperatividad de una parte de los equipos conformantes de la planta, con el consecuente impacto en la línea de producción.

2.4.5. RECURSO HUMANO

2.4.5.1. MANO DE OBRA DIRECTA

Además de representar necesidades asociadas a los puestos de trabajo de las personas directamente involucradas en el proceso productivo, es de interés brindar facilidades que permitan un ambiente laboral adecuado para los involucrados, de forma tal que propicien condiciones óptimas y de confort para el desarrollo de sus actividades, que finalmente repercutan en una mayor productividad de la línea de producción.

Por la configuración de la planta industrial, la mayoría de los involucrados se desconectan temporalmente del entorno, pasando a representar un segundo plano la hora del día, las condiciones del clima y otros factores que resultan aislados dentro de la planta industrial. En esta clasificación se encuentra a los operadores de los equipos principales y a aquellos que realizan actividades de control de calidad, quienes durante su jornada desarrollan actividades repetitivas y específicas.

Otros colaboradores se encuentran en posiciones de trabajo que implican el constante tránsito dentro de las instalaciones y el permanente ingreso y salida de la planta, para ellos se debe considerar también, las acciones que permitan reducir el impacto asociado a sus funciones. En este grupo se encuentra el personal que realiza actividades de mantenimiento y aquellos encargados del funcionamiento de la mayor parte de los equipos auxiliares.

2.4.5.2. SUPERVISIÓN, DIRECCIÓN Y CONTROL

Resulta frecuente incluir en la planta productiva o en locaciones muy cercanas, los ambientes destinados al área administrativa necesaria para la operación, específicamente la planta materia del presente estudio no es la excepción, por lo que constituye una planta industrial con servicios completos, en la que es posible la interacción personal en todo nivel. Los colaboradores encargados directamente de la operación de equipos se encuentran en constante interacción con sus supervisores directos y además con encargados de puestos de diferentes tareas en la empresa, condiciones que permiten un elevado nivel de comunicación entre todos los colaboradores involucrados en la operación.

2.4.5.3. CONDICIONES LABORALES

La industria textil es intensiva en mano de obra directa e indirecta, específicamente las hilanderías requieren personal con especialización técnica específica para las diferentes posiciones laborales en planta. Al igual que en otras industrias, resulta de interés que las condiciones para los colaboradores resulten apropiadas para su salud, por lo que resulta imprescindible el control y mejora de las condiciones asociadas a los puestos de trabajo.

Para los colaboradores encargados del mantenimiento las condiciones resultan similares, siendo que la empresa debe orientar recursos a fin de brindar condiciones laborales que cumplan los estándares asociados al puesto y que no representen riesgo para las personas involucradas.

2.4.6. EMISIONES Y CONTAMINACIÓN

2.4.6.1. EMISIONES ACÚSTICAS

Ocasionadas principalmente por los equipos principales y auxiliares, representan contaminación audible emanada al entorno, sin embargo, las hilanderías se caracterizan por presentar emisiones acústicas reducidas, y que suelen ser despreciables para el entorno. Un diseño adecuado de la disposición en planta, así como el uso de materiales de cerramiento apropiados a los requerimientos de los equipos, permitirán emisiones audibles por debajo de los límites máximos permisibles, de forma que no representan tema de mayor interés en la operación de la planta industrial.

2.4.6.2. EMISIONES TÉRMICAS

De forma similar al manejo de las emisiones audibles, un apropiado diseño de la planta y sistemas de control adecuados a los requerimientos de los equipos y los procesos, posibilitan la emisión reducida de contaminantes asociados al calor generado en el proceso, manteniéndose también por debajo de los límites permisibles.

2.4.6.3. EMISIONES SÓLIDAS

Para el caso de las hilanderías, consiste principalmente en el polvo y partículas ingresadas a la planta y al proceso productivo junto a la materia prima, las cuales escapan de los sistemas de control y son expulsadas al entorno. Si bien constituyen residuos industriales, las concentraciones no controladas no representan riesgos mayores para el ambiente ni el entorno, considerando además que se conforman principalmente de materiales naturales, no requieren mayor tratamiento ni constituyen pasivos ambientales peligrosos a considerar.

CAPÍTULO III:

MODELAMIENTO Y ESTUDIO DE CASOS

En esta sección se presenta el desarrollo del método de solución aplicando la simulación numérica en la herramienta informática ANSYS, utilizando el módulo de *Fluent*. A partir de esta simulación son ideados casos de estudio para el caso de una nave de hilandería de una planta de procesos textiles, explorando un sistema de climatización de ambiente convencional de hilandería.

3.1. MÉTODO DE TRABAJO

El método de trabajo es la simulación del aire circulante en una hilandería de una planta de procesos textiles. Se debe observar las siguientes consideraciones:

1. **Descripción del ambiente:** Identificar la nave industrial como 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. Por consideraciones constructivas, pueden conformar parte del ambiente principal áreas menores que se encuentran por debajo del nivel del suelo, las cuales sirven al ambiente principal pero que no representan mayor variación en las condiciones de aislamiento térmico del conjunto, por ser de similar construcción.

2. **Primer caso de modelamiento:** Considera la condición real o existente del sistema de climatización, el cual se encarga de mantener la humedad y temperatura dentro del rango meta para el proceso de hilatura que en la planta de procesos textiles se desarrolla. En esta primera condición es importante identificar que el suelo y las paredes de la nave representan bajos niveles de transferencia de calor, siendo la zona crítica el aislamiento que representa el cielo raso o falso techo, por donde la planta presenta mayor transferencia de calor. La climatización se encarga de extraer el calor generado en los diferentes procesos: el calor generado por los motores, por la fricción de los componentes mecánicos, por la fricción de la materia prima con los equipos que la procesan, por la iluminación; así como se encarga también de extraer el calor transmitido a través del suelo, las paredes, las puertas y el cielo raso o falso techo, según la carga que representen las condiciones externas en diversos escenarios; siendo las principales entre varias otras fuentes de calor. Es importante citar también que el sistema de climatización no posee elementos calefactores tales como resistencias, quemadores o similares, por lo que la temperatura meta mínima dentro de la sala climatizada, para condiciones de baja o muy baja temperatura exterior, se ve limitada a la cantidad de calor que el sistema en su conjunto, llámese climatización y cerramientos, pueden contener dentro de la zona climatizada. De igual forma, como consecuencia de los factores externos a la planta, se puede presentar ocasionalmente la condición de que el sistema de climatización no sea capaz de evacuar suficiente calor para mantener la sala por debajo de la temperatura meta máxima, para ambos casos, la condición de trabajar fuera del rango de temperatura meta compromete la productividad de ciertos procesos que se realizan dentro de la planta, el confort térmico del personal,

la calidad del producto, entre otros; por lo que todo factor que contribuye al sistema de climatización a mantener el ambiente dentro de los parámetros establecidos, contribuye también al resultado del proceso productivo.

- 3. 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. Esta condición, permite que para la simulación y en la realidad para el aprovechamiento de la energía contenida en el aire residual, no es necesario el uso de impulsores adicionales, siendo únicamente necesario la ubicación de salidas que permitan la circulación del aire inyectado, ya sea sobre una pared opuesta del entretecho o a través del techo propiamente, en los casos que las fronteras laterales no lo permitan; en cualquier caso, no representan ninguna complejidad ni restricción a la necesidad para garantizar el flujo de aire en el entretecho, por lo que en la

simulación pueden ser ubicados libremente. Para la simulación, la superficie de los conductos existentes en el entretecho será equivalente a una sección transversal de 1 m X 1.5 m por los 60 m de ancho de la sala, y por 5 líneas o módulos de climatización, por lo que la superficie de los conductos será 1500 m². La superficie del cielo raso o falso techo corresponde a 60 m x 100 m o 6000 m² en baldosa de lana de piedra de espesor menor a 1 pulgada.

4. **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. 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 particulado que se pudiera encontrar, por todo lo precedente, para el efecto de la simulación, resulta válido 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.

5. **Consideración para el modelamiento:** Si bien la configuración del sistema de climatización tiene la función de mantener la humedad y temperatura óptimas establecidas como meta, para los casos de estudio de simulación, la variable de la humedad será descartada, asumiendo suficiente el estudio con las temperaturas medias para la transferencia de calor de los ambientes para el proceso de hilatura que en la planta de procesos textiles se desarrolla.

3.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis al desarrollar el modelamiento numérico es que, en condiciones de funcionamiento normales, correspondientes a la condición existente del sistema de climatización, la temperatura del aire dentro del entretecho puede presentar valores mayores que la temperatura ambiente, y que además corresponden a valores sobre la temperatura del aire residual del sistema de climatización. Esta mayor temperatura en el entretecho representa una carga térmica adicional para el material del cielo raso o sobre techo, y para el conducto de aire climatizado y su aislamiento, que finalmente son obligados a transferir parte de ese calor a la sala principal, aumentando el trabajo del sistema de climatización.

En las temporadas frías, la menor temperatura del entretecho representa también una amenaza para la temperatura meta de la sala, al absorber calor a través del cielo

raso y de las paredes de los conductos de climatización. Considerando además que el sistema de climatización se encarga de la limpieza de partículas suspendidas en la sala principal, así como de evacuar aire de refrigeración de los motores y de aire utilizado para evacuación de residuos de los procesos en la hilatura, no es posible apagarlo, siempre va a estar en funcionamiento, siempre va a estar evacuando calor de la sala, siempre va a estar generando calor por efecto de su funcionamiento y consecuentemente, siempre va a estar entregando calor en el aire residual expulsado del sistema.

Recordemos que el sistema de climatización en estudio no posee elementos calefactores, condición que convierte el calor que contiene el aire expulsado, en energía térmica aprovechable para condiciones de baja temperatura. Para el caso opuesto, en temporadas de elevada temperatura, el material del cerramiento lateral y superior del techo (de lámina galvanizada o Aluzinc de $e < 1\text{mm}$ sin revestimiento aislante), convierte el entretecho en un almacén de calor, llegando a temperaturas muy por encima de la atmosférica, la cual es transferida inevitablemente a la sala a través del cielo raso y de las paredes de los conductos de climatización, en este punto es importante volver a mencionar que la temperatura en el entretecho, fácilmente llega a ser mayor que la temperatura del aire residual de la climatización.

Entonces, la hipótesis pretende que el hacer fluir el aire residual del sistema de climatización a través del entretecho, contribuirá a reducir la variación de temperatura en el entretecho, lo que consecuentemente, contribuirá a reducir la transferencia de calor desde la sala y hacia la sala a través del cielo raso y de los conductos de climatización, que representan las superficies de transferencia de calor más relevantes del sistema entre los dos sub ambientes. Una vez identificado y comprobado esto, es posible comprobar la hipótesis y validar su aplicación. También

es cierto y está claro que el sistema propuesto y la simulación no van a entregar resultados sorprendentes y, probablemente tampoco significativos cuantitativamente, pero para el caso particular de plantas de hilandería, es preciso tener en cuenta que la utilidad económica corresponde a un porcentaje ínfimo de la operación, por lo que el resultado económico es muy sensible y se puede ver afectado por condiciones que en otros procesos productivos pueden parecer insignificantes. Condiciones tan imperceptibles como 4 husos inoperativos debido a una pequeña faja rota en una continua de hilar de más de 1000 husos, un módulo inoperativo de 32 instalados en una conera, o una rotura de cinta no atendida oportunamente en una carda al inicio de la hilatura, son capaces de desequilibrar el proceso de la planta, con el consecuente costo asociado por el desperdicio de energía e inoperatividad de equipos, entre otros factores.

Es entonces que, la propuesta de mejora sobre el sistema de climatización, la cual demanda a grandes rasgos el 25% del consumo total de energía de la planta, representa para el caso del estudio, un trabajo sobre un sistema que demanda no menos de 600 Kw por hora, sobre el cual, considerando que permita reducir un 1% la demanda de energía del sistema de climatización, representaría una disminución de 6 Kw/hora, en un año, no menos de 50 Mw/hora, a un costo estimado de \$45 el Mw/hora, sería suficiente para justificar una inversión que será posible recuperar en el corto plazo y que posteriormente reflejará utilidad en la operación.

3.3. ESTUDIOS DE CASOS

A partir de la hipótesis de trabajo son propuestos dos estudios de casos:

- El sistema de climatización convencional para la planta de hilandería.
- El sistema de climatización para la planta de hilandería con aprovechamiento del flujo de aire residual desde la salida del sistema de climatización.

Las Figuras 3.1 y 3.2, muestran los esquemas isométricos para los casos de estudio mencionados.

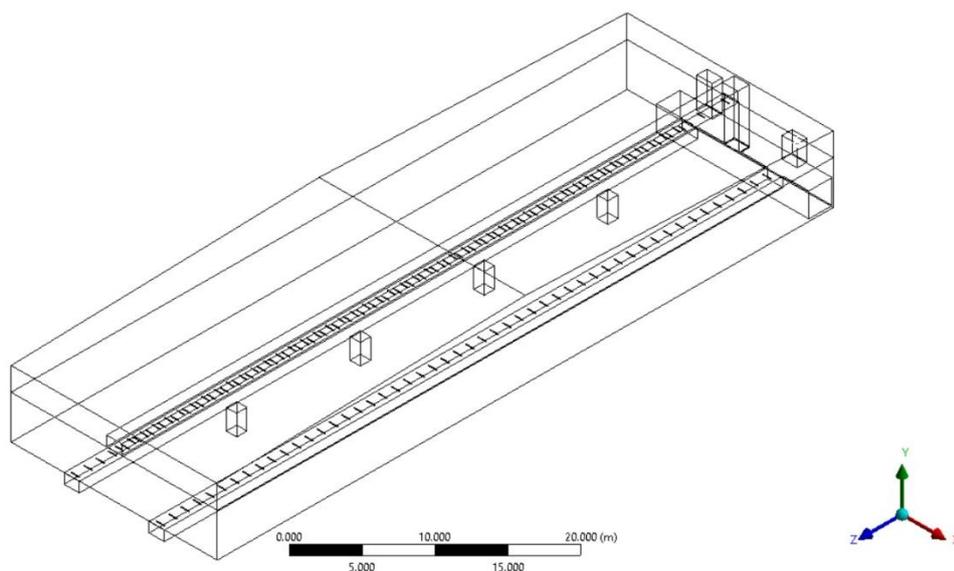


Figura 3.1. Módulo de climatización convencional de la planta de hilandería.

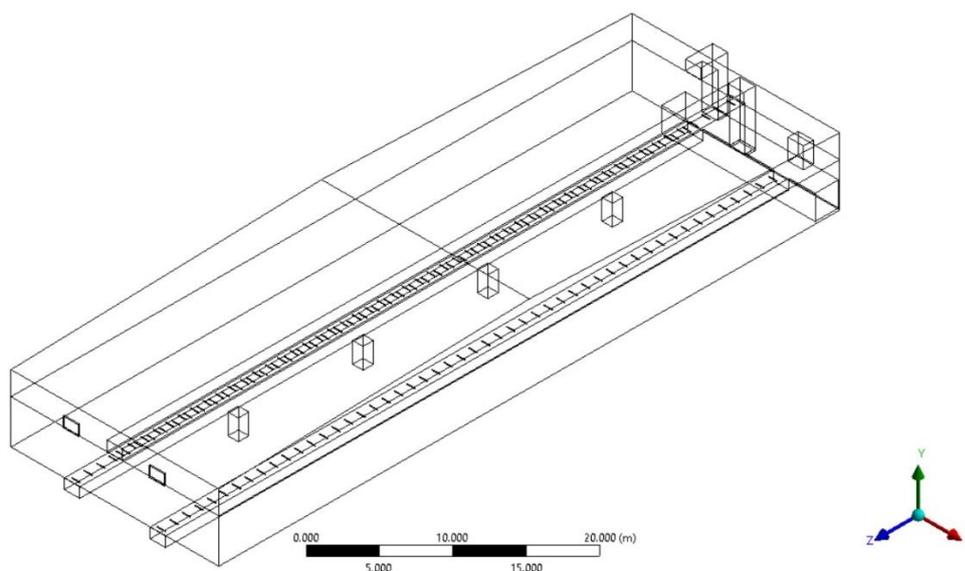


Figura 3.2. Módulo de climatización que incluye la modificación propuesta.

3.4. CONDICIONES DE CONTORNO

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. Las Tablas 3.1 y 3.2, muestran estas condiciones de contorno. Además, las Figuras 3.3 y 3.4, especifican de manera esquemática las condiciones de contorno de los casos de estudio propuestos.

Tabla 3.1.

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 climatización	Salida	OUTLET
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY1
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY2

Tabla 3.2.

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 climatización	Salida	OUTLET1
Salida de aire desde el entretecho	Salida	OUTLET2
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY1
Superficie intermedia del dominio (plano Y-Z)	Simetría	SYMMETRY2

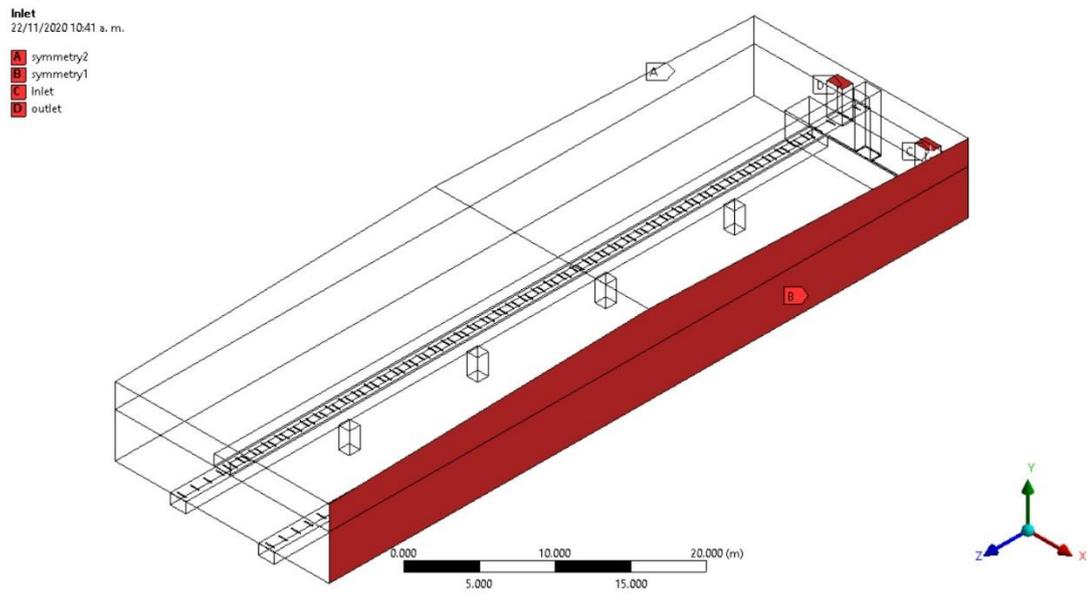


Figura 3.3. Condiciones de contorno para la climatización convencional de la planta.

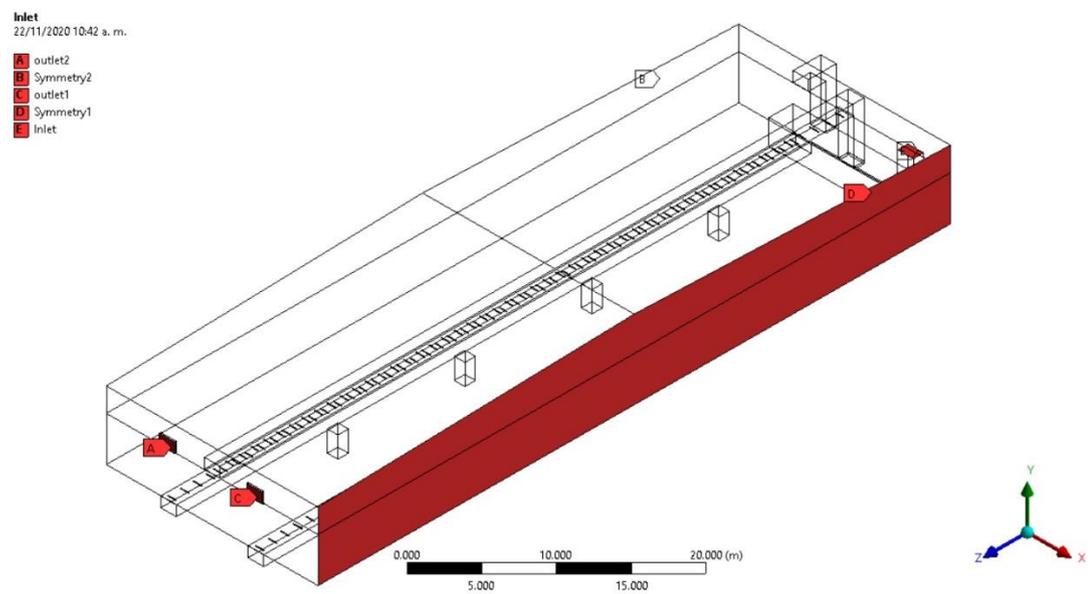


Figura 3.4. Condiciones de contorno para la climatización propuesta de la planta.

3.4. CONFIGURACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUMÉRICA

En esta etapa se establece la configuración del método de solución, donde se determina además el tipo de malla para las simulaciones numéricas, el tipo de flujo, los fenómenos de transferencia de calor y los parámetros para la convergencia de la simulación numérica.

Se selecciona 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 Figura 3.5, muestra el enmallado del sistema de climatización convencional de la planta, considerando elementos poliédricos.

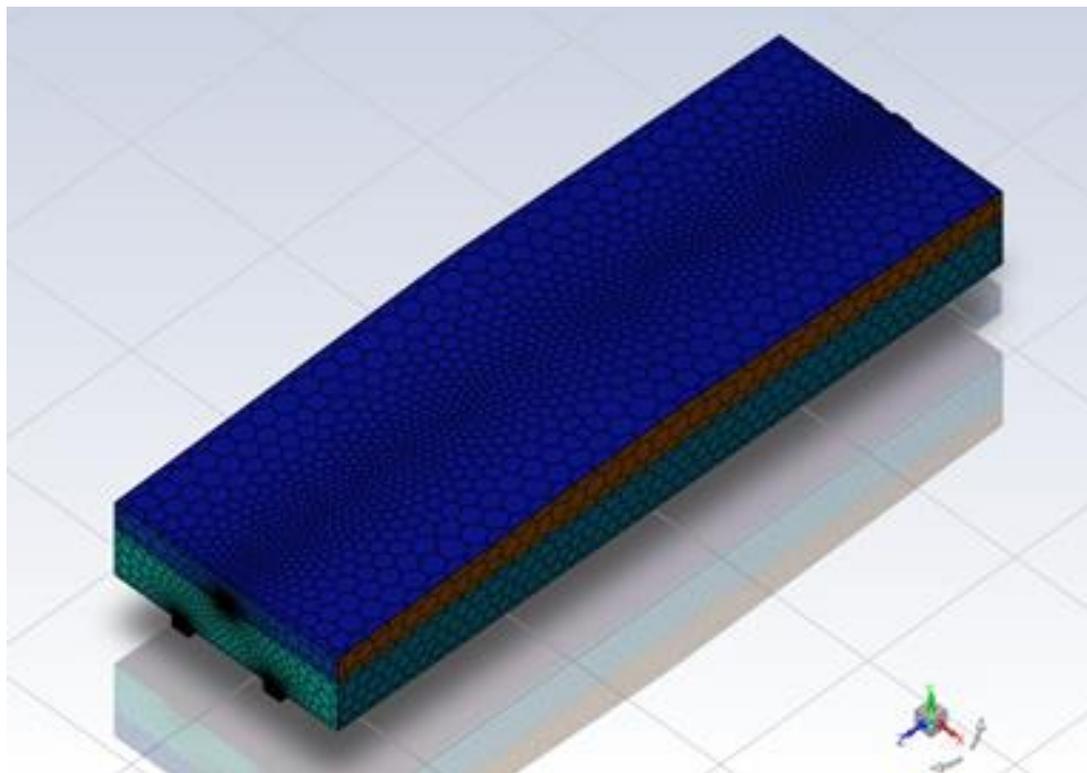


Figura 3.5. Enmallado del módulo del sistema de climatización convencional.

Complementariamente, es presentado un corto seccional del módulo del sistema de climatización convencional mostrando la configuración de los elementos poliédricos utilizados en los dos casos de estudio propuestos para representarlos numéricamente en la simulación.

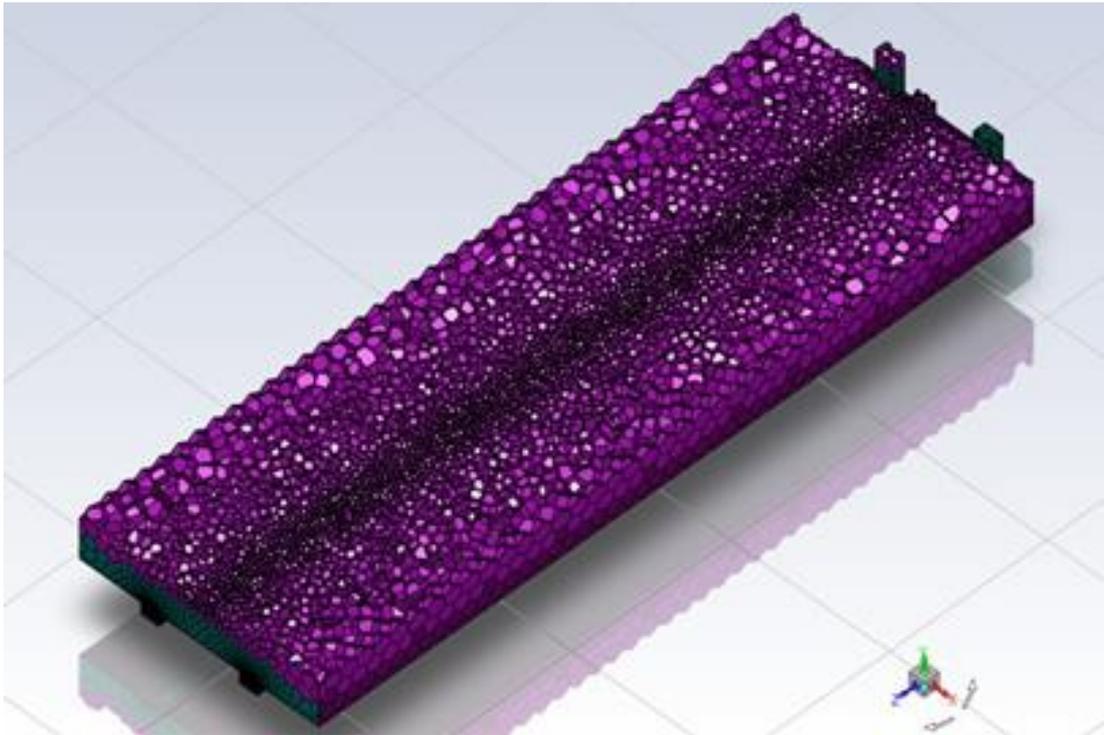


Figura 3.6. Corte seccional, identificando la distribución de la malla poliédrica.

Para el análisis del comportamiento del tipo de flujo, es seleccionado un modelo de turbulencia tipo “k-w”, el cual ayuda a representar el movimiento del aire a través de los ductos que conducen el aire climatizado a través de la planta de hilandería. El cuadro con los parámetros considerados para el modelamiento numérico del tipo de fluido es mostrado en la Figura 3.7.

Viscous Model

Model

- Inviscid
- Laminar
- Spalart-Allmaras (1 eqn)
- k-epsilon (2 eqn)
- k-omega (2 eqn)
- Transition k-kl-omega (3 eqn)
- Transition SST (4 eqn)
- Reynolds Stress (7 eqn)
- Scale-Adaptive Simulation (SAS)
- Detached Eddy Simulation (DES)
- Large Eddy Simulation (LES)

k-omega Model

- Standard
- GEKO
- BSL
- SST

k-omega Options

Low-Re Corrections

Options

Buoyancy Effects: Only Turbulence Production

- Viscous Heating
- Curvature Correction
- Production Kato-Launder
- Production Limiter
- Intermittency Transition Model

Model Constants

Alpha*_inf: 1

Alpha_inf: 0.52

Beta*_inf: 0.09

a1: 0.31

Beta_i (Inner): 0.075

Beta_i (Outer): 0.0828

TKE (Inner) Prandtl #:

User-Defined Functions

Turbulent Viscosity: none

Prandtl Numbers

Energy Prandtl Number: none

Wall Prandtl Number: none

OK Cancel Help

Figura 3.7. Parámetros seleccionados para el modelo de turbulencia k- ω .

También, debido a la complejidad de los casos de estudio, fueron considerados los fenómenos de convección y radiación. La Tabla 3.3, muestra los parámetros

insertados en el modelo numérico para representar los fenómenos mencionados. La Tabla 3.4, muestra las velocidades y propiedades establecidas en la entrada y salida para ambos casos de estudios.

Tabla 3.3.

Condiciones de contorno y propiedades para los fenómenos de convección y radiación.

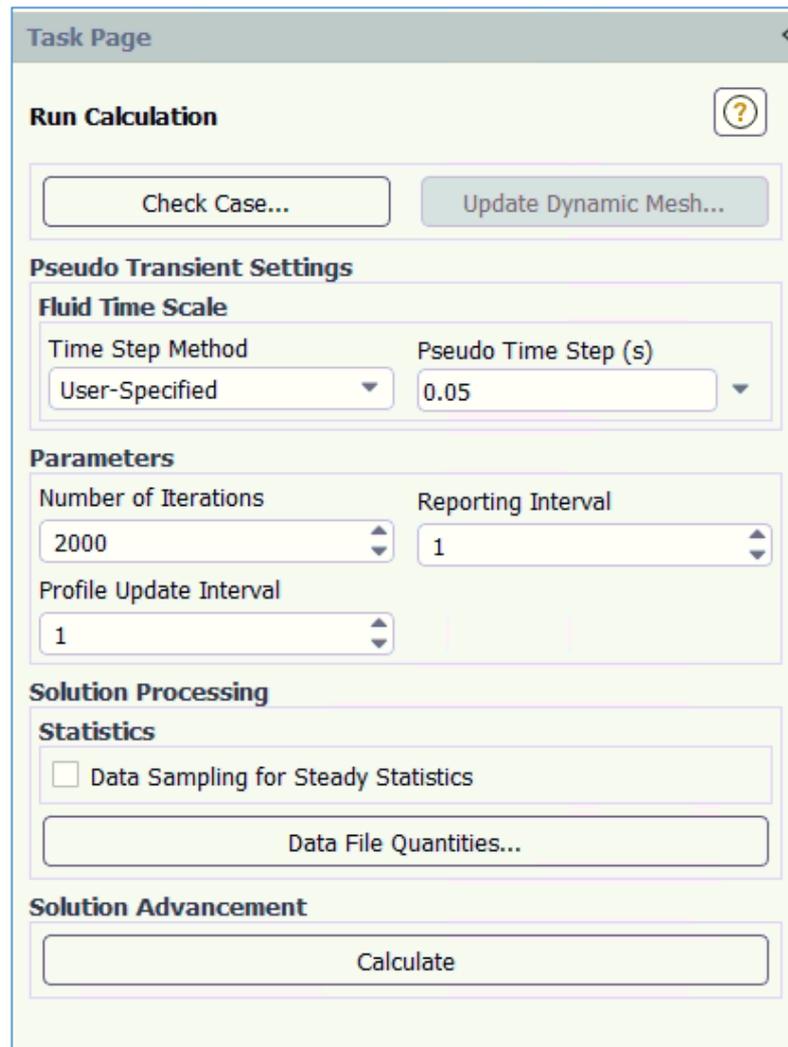
Frontera	Temperatura (°C)	Espesor (m)	Coefficiente de conducción (W/m-K)	Coefficiente de convección (W/m ² -K)	Emisividad	Generación de calor (W/m ²)
Ductos	24	0.013	0.03			
Rejillas	32	0.013	0.03			
Paredes	32	0.12		17		
Techo	40	0.001	202.4	20	0.7	
Máquinas						2.8

Tabla 3.4.

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
Oulet	-	1	5%	10	26.85

Los parámetros de la simulación numérica establecidos para calcular el paso de tiempo computacional consideran un valor de 0.05 y el tiempo de simulación considera 2000 iteraciones, para lograr un tiempo estimado de ingreso de aire hasta la salida por los ductos respectivos, ver Figura 3.8.



Task Page

Run Calculation ?

Check Case... Update Dynamic Mesh...

Pseudo Transient Settings

Fluid Time Scale

Time Step Method: User-Specified Pseudo Time Step (s): 0.05

Parameters

Number of Iterations: 2000 Reporting Interval: 1

Profile Update Interval: 1

Solution Processing

Statistics

Data Sampling for Steady Statistics

Data File Quantities...

Solution Advancement

Calculate

Figura 3.8. Parámetros insertados en la solución numérica.

3.5. RESULTADOS

A partir de las condiciones propuestas anteriormente para representar 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 Figura 3.9, 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 esta tesis y en el modelamiento numérico.

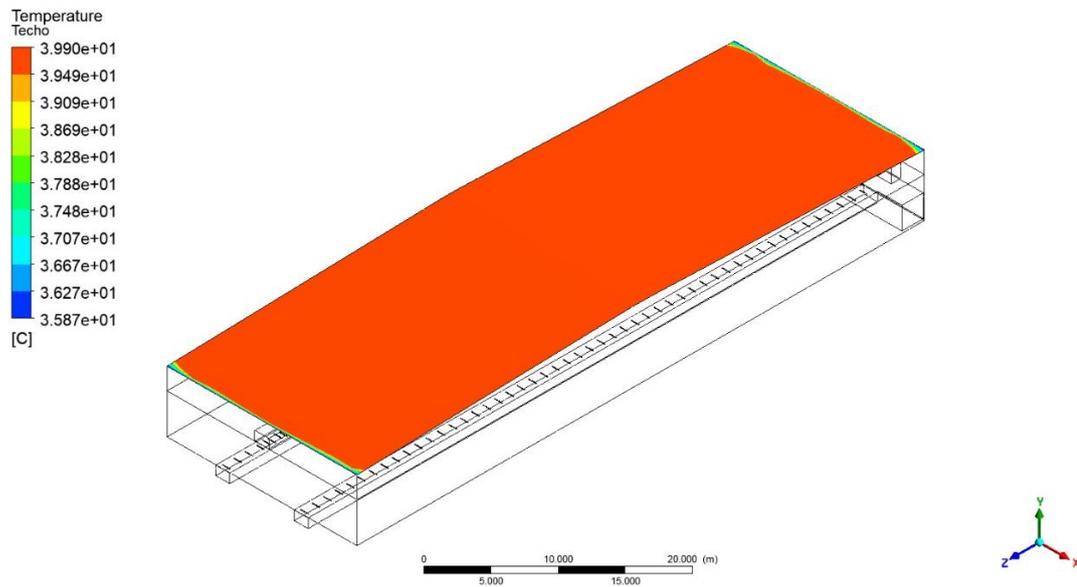


Figura 3.9. Iso-temperaturas de la cobertura del techo de la planta de hilandería.

También, la Figura 3.10 ilustra un conjunto de equipos instalados en el interior de la planta de hilandería que generan y entregan calor como consecuencia de su operación, observándose en el modelamiento rangos de temperatura entre 28 °C a 32 °C, estos valores son observados durante la etapa de climatización del aire que ingresa idealmente al interior de la planta a 24 °C, y representan en la simulación los puntos de generación de calor dentro del área climatizada de la planta.

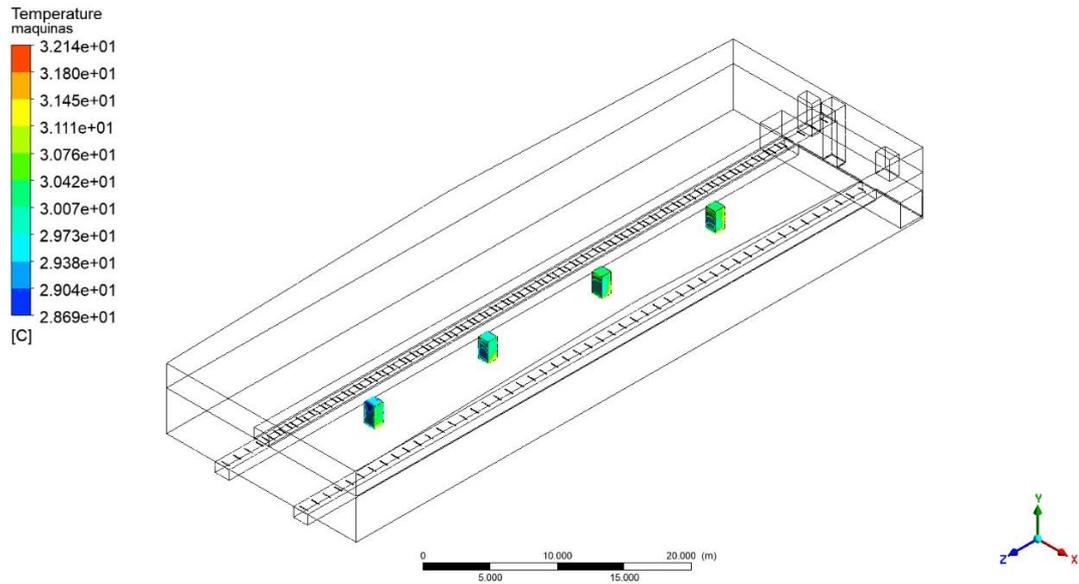


Figura 3.10. Condiciones de contorno para la planta de hilandería propuesta.

La Figura 3.11, presenta una vista de corte de un módulo de la sección longitudinal de la planta, en la que se aprecia las condiciones de contorno y que incluyen la representación de los valores de iso-temperaturas de la cobertura del techo de la planta de hilandería.

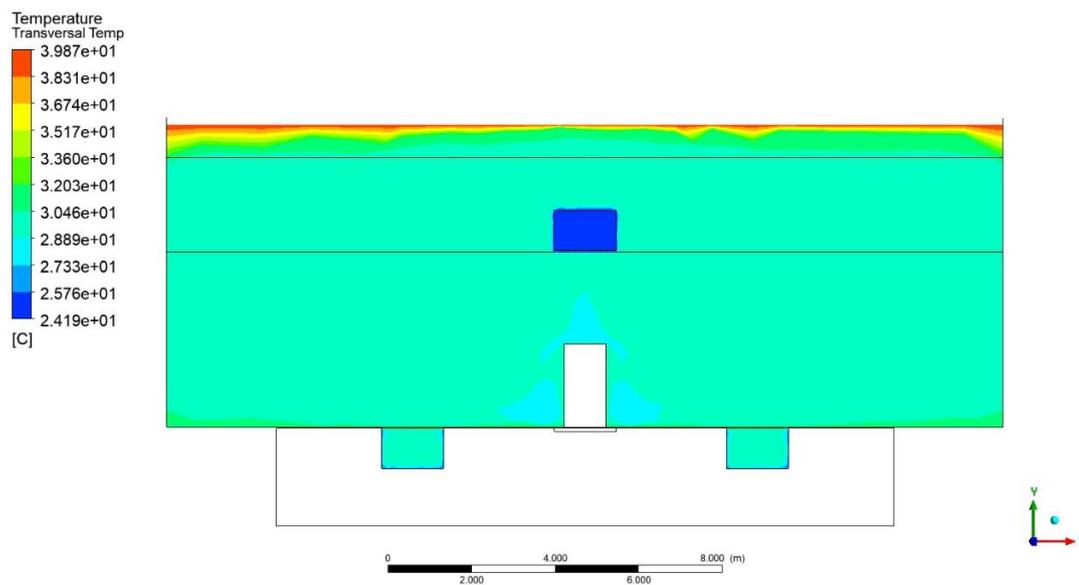


Figura 3.11. Condiciones de contorno para la planta de hilandería.

Las Figuras 3.12 y 3.13, presentan resultados entregados por el modelo, del comportamiento del flujo de aire climatizado en el conducto que lo transporta y su distribución dentro de la sala climatizada, considerando las condiciones de contorno para el primer caso de estudio analizado con la herramienta informática.

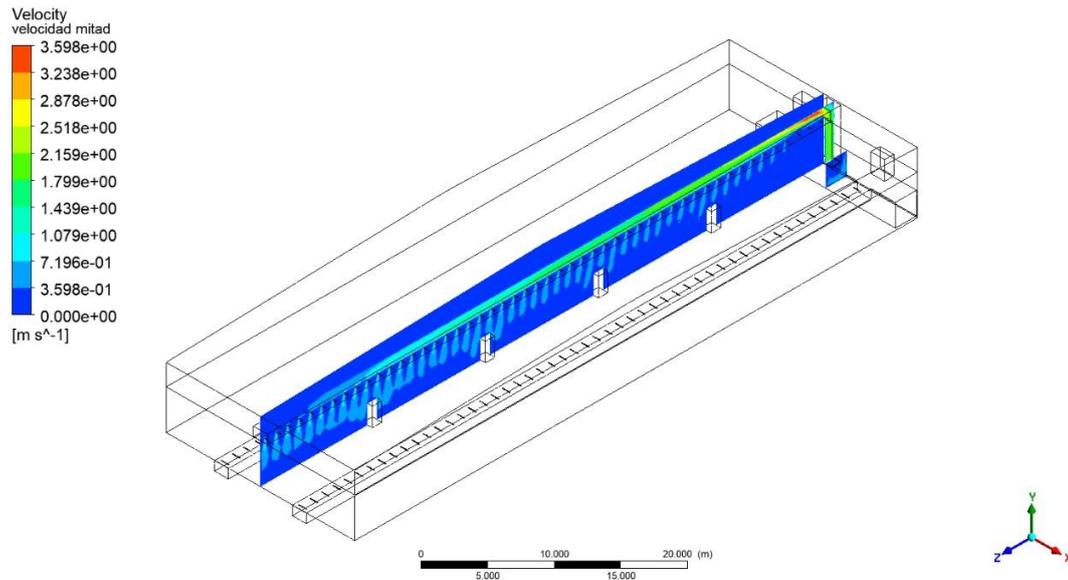


Figura 3.12. Transporte e ingreso del aire climatizado a la planta.

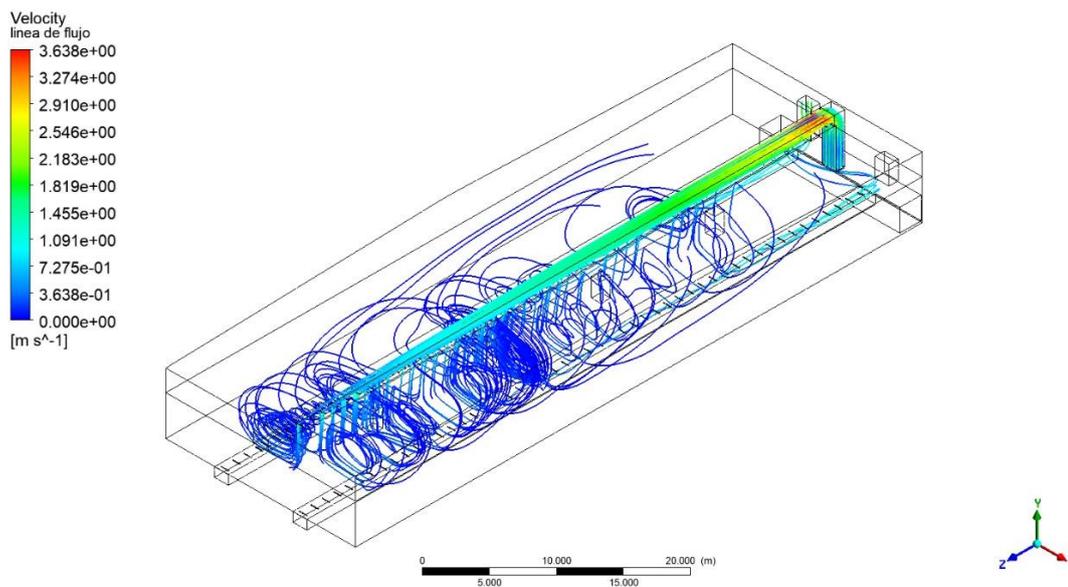


Figura 3.13. Distribución del aire climatizado en el módulo de estudio.

Las Figuras 3.14 y 3.15, presentan las condiciones de contorno del módulo de estudio correspondiente al segundo caso modelado con la herramienta informática, y el efecto sobre la temperatura de la cobertura o cerramiento del techo de la planta.

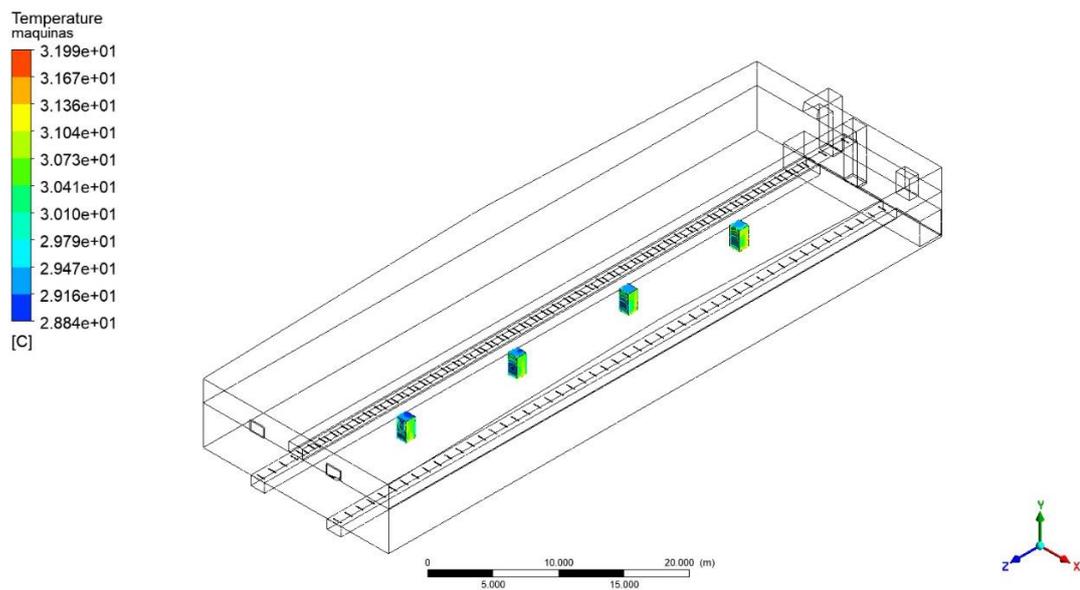


Figura 3.14. Condiciones de contorno para el sistema de climatización propuesto.

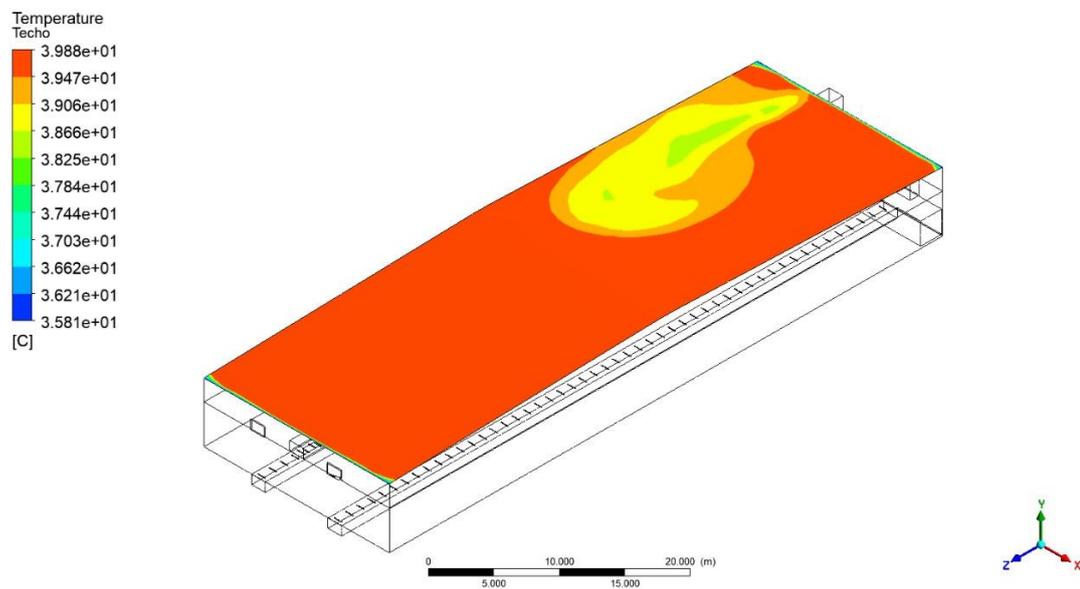


Figura 3.15. Efecto térmico que presenta la cobertura del techo, producto del modelado numérico en el segundo caso de estudio.

Finalmente, las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18, presentan los resultados entregados por la herramienta informática para el modelo, del comportamiento del flujo de aire climatizado y del aire recuperado del módulo de climatización de acuerdo a la propuesta que plantea el presente trabajo, correspondientes al segundo caso de estudio considerado para la presentación.

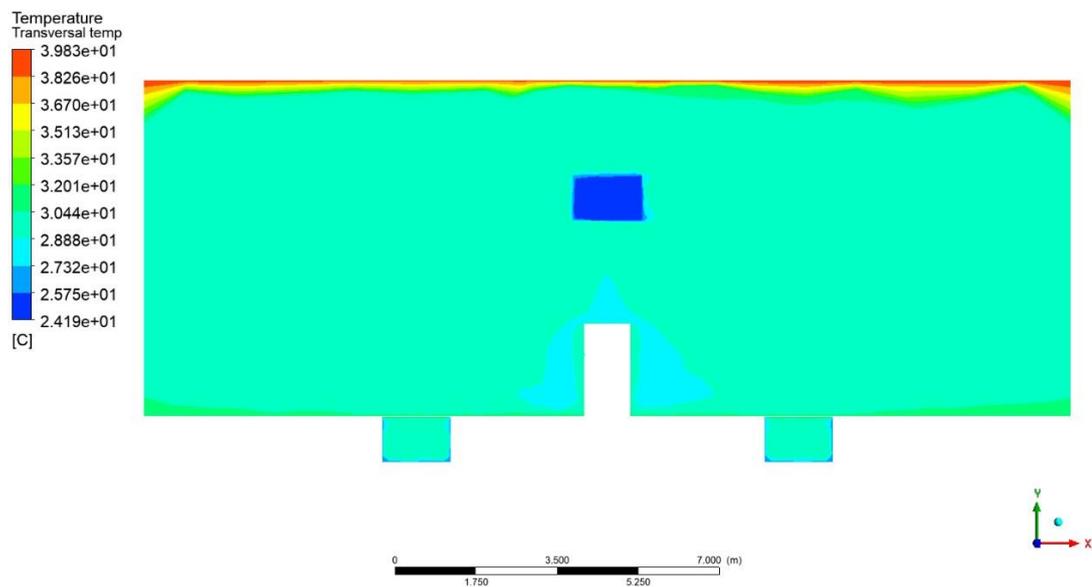


Figura 3.16. Condiciones de contorno para el segundo caso de estudio.

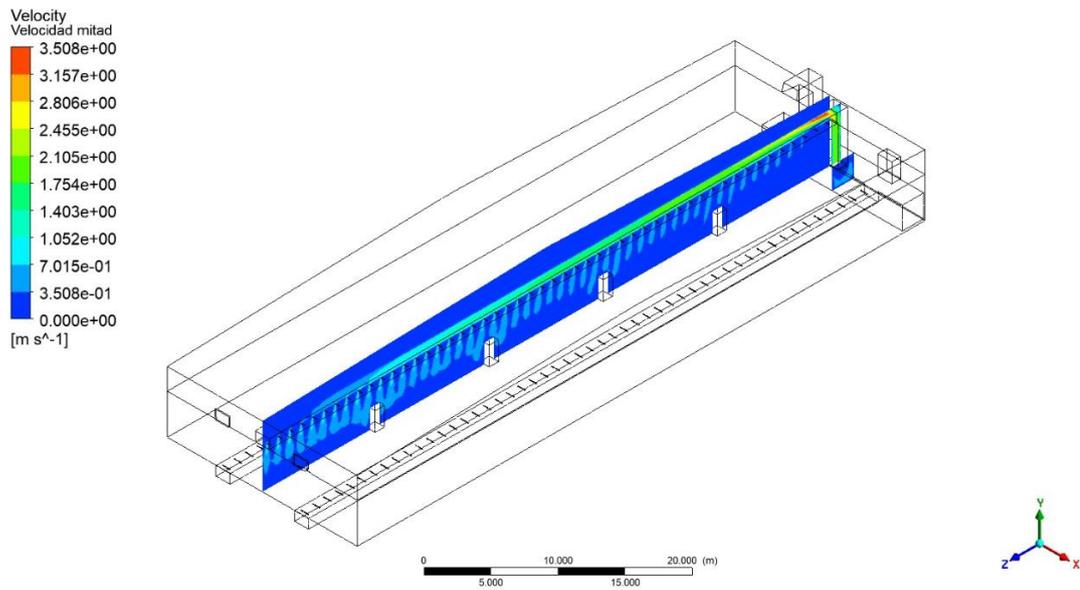


Figura 3.17. Transporte e ingreso del aire climatizado a la planta.

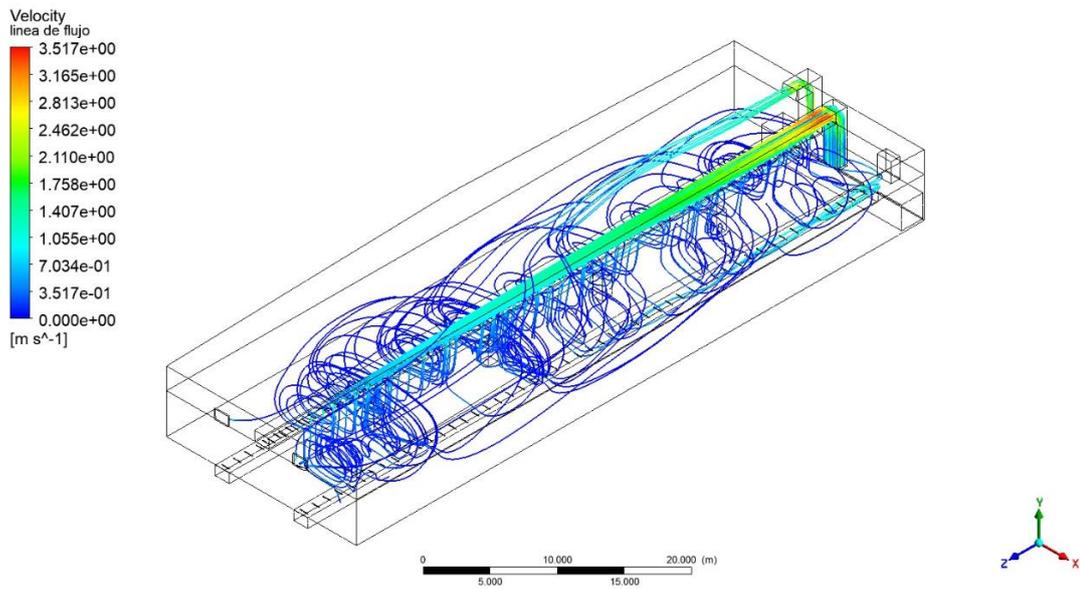


Figura 3.18. Comportamiento del flujo de aire climatizado y de recuperación, correspondiente al segundo caso de estudio.

CONCLUSIONES

Respecto a la primera hipótesis específica planteada, el modelamiento numérico realizado a los casos de estudio evidencia que existen factores asociados al control de la temperatura del aire circulante de la planta sobre los cuales es factible proponer y determinar acciones de mejora y cuantificar su efecto, por lo que es válido afirmar que el resultado de la investigación permite comprobar la hipótesis.

Respecto a la segunda hipótesis específica planteada, el modelamiento numérico del modelo correspondiente a la planta industrial materia del estudio, demuestra que es posible cuantificar la energía residual aprovechada, la que será dependiente de las condiciones climáticas aplicables al caso de estudio y que determinarán además el efecto del aprovechamiento de la energía en el sistema de climatización.

Como resultado global de la investigación, se comprueba la validez de la hipótesis general, consiguiendo demostrar que la propuesta que plantea el presente estudio permite aprovechar la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización para reducir la demanda de energía eléctrica en la planta materia del estudio.

Además de confirmar la validez de las hipótesis planteadas, desde la perspectiva de la propuesta y los resultados obtenidos, el estudio permite resaltar lo siguiente:

- El modelamiento permite, para el caso de estudio, identificar el comportamiento del aire climatizado en la planta industrial.

- El modelamiento numérico con la asistencia de la herramienta informática permite simular una cantidad virtualmente infinita de escenarios posibles para el modelo materia del estudio.
- Los resultados obtenidos mediante el modelamiento permiten inferir a partir de resultados puntuales, el comportamiento esperado del sistema.
- 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.
- La implementación de la propuesta permitirá mejores valores de temperatura de trabajo para quienes eventualmente realizan labores asociadas al mantenimiento de los activos ubicados en el entretecho de la nave industrial.
- La implementación de la propuesta reducirá el impacto ambiental in situ del proceso productivo y de su sistema de climatización, ya que además de la reducción en el consumo de energía eléctrica, permitirá reducir parcialmente la magnitud del intercambio térmico entre las coberturas y su entorno.
- La menor demanda de trabajo de enfriamiento del sistema de climatización que resulte de la implementación de la propuesta permitirá reducir la frecuencia y los costos asociados al mantenimiento de los equipos encargados específicamente de evacuar calor del sistema.
- El aumento de temperatura en el entretecho, para las condiciones en las que la implementación de la propuesta entrega calor al sistema, permitirá reducir la frecuencia de eventos en los que el sistema no es capaz de mantener la temperatura de la sala de trabajo por encima de rango meta mínimo establecido.

RECOMENDACIONES

Se propone utilizar el modelamiento numérico del modelo propuesto para validar los resultados en diferentes escenarios, de forma que posibiliten la cuantificación precisa de la información correspondiente a la energía recuperada, y consecuentemente permita cuantificar con precisión la reducción del consumo de energía del sistema.

Se recomienda ampliar los casos de aplicación a naves industriales que presenten características operativas que puedan ser actualizadas en el modelo, a fin de validar su aplicación en nuevos proyectos en los que resulte posible obtener ahorros de energía como consecuencia del control de temperatura mediante la recuperación de energía residual no aprovechada.

Se invita a modelar el comportamiento de los sistemas de climatización de instalaciones que presenten modelos diferentes al del presente estudio, de forma que la investigación permita inferir, desde el análisis del funcionamiento y comportamiento de cada modelo específico, la propuesta de acciones de mejora que sean aplicables para el particular en estudio, y permitan obtener resultados que deriven, finalmente, en reducción de costos de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allwood, J. M., Laursen, S. E., Russell, S. N., de Rodríguez, C. M., & Bocken, N. M. P. (2008). An approach to scenario analysis of the sustainability of an industrial sector applied to clothing and textiles in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1234–1246. doi:10.1016/j.jclepro.2007.06.014
- Azahuanche, M. H. (2006). *Calculo y diseño del sistema de climatización de áreas de producción en laboratorios farmacéuticos*. Lima.
- Azqueta, P. (2017). *Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción*.
- Caparó, J. C. (1999). *Climatización de la sala de ventas de un supermercado*. Lima.
- Çay, A. (2018). Energy consumption and energy saving potential in clothing industry. *Energy*, 159, 74–85. doi:10.1016/j.energy.2018.06.128
- Cui, X., Islam, M. R., & Chua, K. J. (2019). Experimental study and energy saving potential analysis of a hybrid air treatment cooling system in tropical climates. *Energy*, 172, 1016–1026. doi:10.1016/j.energy.2019.02.040
- Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., & 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.jobbe.2018.01.012
- Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Thebuwanage, L. M., & Bandara, U. A. A. N. (2020). An environmentally friendly sound insulation material from post-

- industrial textile waste and natural rubber. *Journal of Building Engineering*, 101606. doi:10.1016/j.jobbe.2020.101606
- Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G., & Kotsopoulos, T. A. (2019). Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: a critical review. *Energy and Buildings*, 109368. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109368
- Moon, K. K.-L., Youn, C., Chang, J. M. T., & Yeung, A. W. (2013). Product design scenarios for energy saving: A case study of fashion apparel. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 392–401. doi:10.1016/j.ijpe.2013.02.024
- Morales, S. C. (2018). *Diseño de plantas industriales*. UNED.
- Pecoraio, S. (2018). *Gestión de residuos industriales*. Ediciones de la U.
- Resta, B. & Dotti, S. (2015). 8 - Environmental impact assessment methods for textiles and clothing. *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing*, Woodhead Publishing Series in Textiles 2015, 149-191. doi: 10.1016/B978-0-08-100169-1.00008-3
- Riba, J.-R., Cantero, R., Canals, T., & Puig, R. (2020). Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 123011. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123011
- Soto, M. D., & Nuñez, M. (1997). *Estudio de factibilidad de una hilandería de algodón pima, peinado retorcido para títulos finos 50/2 - 95/2 Ne*. Lima.
- Suter, J. (1968). *Moderna Técnica del Acondicionamiento Industria Textil*. España
- Tran, M. T., Vu, X. H., & Ferrier, E. (2020). 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*, 103186. doi:10.1016/j.firesaf.2020.103186

- Turnbull, R., & Muneer, T. (2019). 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*, 161, 251–258. doi:10.1016/j.egypro.2019.02.089
- Zanchini, E., & Naldi, C. (2019). 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*. doi:10.1016/j.energy.2019.05.065
- Zhao, H., & Lin, B. (2019). Assessing the energy productivity of China's textile industry under carbon emission constraints. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.327

ANEXO A
MATRÍZ DE CONSISTENCIA

En esta sección se presentará la matriz de consistencia de la investigación.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
¿Es posible establecer un sistema de ahorro de energía en plantas de procesos textiles en el que se aproveche la energía residual contenida en el aire evacuado por el sistema de climatización, aquella que se entrega al ambiente sin aprovechamiento en naves de hilandería de una planta de procesos textiles?	Proponer un sistema de ahorro de energía para plantas de procesos textiles aprovechando la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización.	Es factible 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.	Ahorro de energía eléctrica.	Intercambio de calor. Simulación numérica.	Temperatura de aire del entretecho. Carga térmica en los materiales de aislamiento. Demanda de operación del sistema de evacuación de calor.	Herramienta informática ANSYS (Metodología: Cualitativa, Cuantitativa y Casuística)
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipotesis Específicas:	Variables Independientes			
1. ¿Es posible optimizar las condiciones de control de la temperatura del aire circulante en las naves de hilandería de una planta de procesos textiles?	1) Identificar aquellos factores que impactan en el control de la temperatura del aire circulante de la hilandería para cuantificar dicho impacto y evaluar las opciones de mejora que pudieran ser aplicables.	1) Es factible determinar acciones de mejora y cuantificar el impacto en ciertos factores asociados al control de la temperatura del aire circulante de la planta de hilandería.	Control de temperatura.	Superficie de transferencia. Características conductivas de los materiales.	Temperaturas medias. Desviación estandar de temperatura.	Herramienta informática ANSYS (Metodología: Cualitativa, Cuantitativa y Casuística)
2. ¿Es posible aprovechar la energía contenida en el aire residual del sistema de climatización de las naves de hilandería de una planta de procesos textiles?	2) Determinar la factibilidad de aprovechamiento de la energía residual del sistema de climatización y cuantificar su efecto utilizando la herramienta de simulación numérica.	2) Es factible aprovechar la energía residual del sistema de climatización de la planta de hilandería, y cuantificar la parte de dicha energía residual aprovechada utilizando la herramienta de simulación numérica..	Aprovechamiento de energía Residual.	Energía térmica. Energía cinética.	Velocidad y temperatura del aire residual.	Herramienta informática ANSYS (Metodología: Cualitativa, Cuantitativa y Casuística)

