

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



Trabajo de suficiencia profesional

Diseño de un sistema de ventilación para reducir los niveles de temperatura en una nave industrial de extrusión de plásticos.

**Para obtener el Título Profesional de Ingeniero:
Mecánico Electricista**

Elaborado por

Jordan Michael Socualaya Castillo

 [0000-0001-9969-2577](https://orcid.org/0000-0001-9969-2577)

Asesor

MSc. Ing. Fausto Israel Godofredo Valdivia

 [0000-0003-1494-9690](https://orcid.org/0000-0003-1494-9690)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Socualaya, 2025)
Referencia/Reference	Socualaya, J. (2025). <i>Diseño de un sistema de ventilación para reducir los niveles de temperatura en una nave industrial de extrusión de plásticos</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

El trabajo va dedicado a mis padres Orlando Meliton Socualaya Cangalaya y Sonia Claudia Castillo Huamanchaqui, quienes con mucho esfuerzo y sacrificio han podido salir adelante y construir una familia sólida en principios, moral y ética. Nunca estaré lo suficientemente agradecido y nunca podré devolverles todo lo sacrificado, pero con la presente dedicatoria espero demostrar que siempre están en mis pensamientos.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por todo lo que me ha brindado y me sigue dando, también agradezco a mi novia Sandra Mariella Vilca Ccoyllo y a mi hijo Marco Salvador Socualaya Vilca, quienes me han brindado muchas horas, días y meses de su vida para permitirme culminar con el trabajo. También a mis padres y hermano, por todas las palabras de aliento y superación. Así mismo, agradezco a mi asesor, quién me ha guiado y motivado para seguir adelante hasta finalizar con mi proyecto.

Resumen

En el trabajo de investigación plantea que el diseño de un sistema de ventilación reduce la temperatura dentro de la nave industrial de extrusión de plásticos, y para demostrar la hipótesis se realiza el cálculo de la ganancia de calor por parte de las paredes, el portón, la cubierta, las luminarias, las máquinas y el personal operativo al interior de la nave industrial, en consecuencia, se determina la cantidad de ventiladores para proporcionar el caudal de aire necesario para disminuir la temperatura.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, debido a que solo se registrará los datos una única vez en un instante determinado sin manipular las variables, así mismo, es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo correlacional.

La ganancia de calor resultante al interior de la nave industrial es de 1,675,652.02 Btu/h, y el caudal es de 248,502.78 m³/h de aire necesario para reducir la temperatura dentro de la nave industrial, luego se selecciona los 6 ventiladores industriales a partir de modelos comerciales que cumplan con el requisito de caudal ya mencionado.

Se concluye que el diseño del sistema de ventilación resultó en la implementación de 6 ventiladores modelo HGT-1250, con un caudal de 38,900.00 m³/h de aire por cada ventilador, los cuales provocan la reducción de la temperatura en 2.8°C en promedio al interior de la nave industrial, como consecuencia de la renovación de todo el volumen de aire caliente.

Palabras clave: Sistema de ventilación, nave industrial, ganancia de calor, caudal de aire, ventiladores.

Abstrac

The research paper proposes that the design of a ventilation system reduces the temperature inside a plastics extrusion facility. To demonstrate this hypothesis, the heat gain generated by the walls, gate, roof, lighting, machinery, and operating personnel inside the facility is calculated. Consequently, the number of fans required to provide the airflow necessary to reduce the temperature is determined.

The research design is non-experimental and cross-sectional, as data will only be recorded once at a given time without manipulating the variables. It is also applied, with a quantitative approach and a descriptive correlational level.

The resulting heat gain inside the industrial warehouse is 1,675,652.02 Btu/h, and the flow rate is 248,502.78 m³/h of air needed to reduce the temperature inside the industrial warehouse, then the 6 industrial fans are selected from commercial models that meet the aforementioned flow rate requirement.

It is concluded that the ventilation system design resulted in the implementation of six HGT-1250 model fans, with a flow rate of 38,900.00 m³/h of air per fan, which reduces the temperature inside the industrial facility by an average of 2.8°C, as a result of the replacement of the entire volume of hot air.

Keywords: Ventilation system, industrial facility, heat gain, air flow rate, fans.

Lista de contenido

	Pág.
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstrac.....	vi
Lista de contenido	vii
Lista de Tablas.....	x
Lista de Figuras.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I: Generalidades.....	1
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	1
1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio.....	3
1.3. Formulación del Problema.....	5
1.3.1. Problema Principal.	5
1.4. Justificación e Importancia.	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.6. Hipótesis	6
1.6.1. Hipótesis General	6
1.7. Variables y Operacionalización de variables.....	6
1.7.1. Operacionalización de variables.....	6
1.8. Metodología de la Investigación.....	8
1.8.1. Unidades de Análisis.	8
1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación.....	8
1.8.3. Diseño de la Investigación.....	8
1.8.4. Fuentes de Información.	8
1.8.5. Población y Muestra.....	9
1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	9

1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos.	10
CAPÍTULO II: .Marco Teórico y Marco Conceptual	11
2.1. Bases Teóricas	11
2.1.1. Ventilación	11
2.1.2. Tipos de ventilación	12
2.1.2.1. Ventilación general.....	12
2.1.2.2. Ventilación localizada	12
2.1.3. Sistemas de ventilación	13
2.1.3.1. Sistema de ventilación mecánica	14
2.1.3.2. Sistema de ventilación libre o natural	15
2.1.3.3. Sistema de ventilación mixta	16
2.1.4. Ventiladores.....	16
2.1.4.1. Ventiladores axiales.....	16
2.1.4.2. Ventiladores centrífugos	18
2.1.5. El Aire y la temperatura	21
2.1.6. Conductividad térmica.....	22
2.1.7. El calor y la transferencia de calor	23
2.1.7.1. Transferencia de calor.....	24
2.1.7.2. Conducción	24
2.1.7.3. Convección	25
2.1.7.4. Radiación	25
2.2. Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos	26
CAPÍTULO III: Desarrollo del trabajo de investigación	28
3.1. Consideraciones iniciales.....	28
3.2. Características estructurales de la nave industrial.....	31
3.3. Ganancia de calor debido a los muros y techos debido a la radiación absorbida	32
3.3.1. Determinación del coeficiente de transferencia de calor global (U)	33
3.3.2. Coeficiente U para las paredes 1 y 2, el portón y la cubierta	35

3.3.3.	Cálculo de la Diferencia Equivalente de Temperatura	38
3.3.4.	Resumen de las ganancias de calor por la cubierta, paredes y portón	41
3.3.5.	Ganancia de calor debido al personal operativo	42
3.3.6.	Ganancia de calor por la iluminación	44
3.3.7.	Ganancia de calor por los motores eléctricos	44
3.3.8.	Ganancia de calor por las resistencias térmicas.....	46
3.3.9.	Resumen de todas las ganancias de calor en la nave industrial	47
3.4.	Cálculo del caudal de ventilación necesario	48
3.5.	Cálculo de los equipos ventiladores para la nave industrial	49
3.6.	Diseño de la distribución para ventiladores y sobre techo para la salida de aire	50
3.7.	Diseño del circuito eléctrico para los ventiladores	52
CAPÍTULO IV: Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión Resultados		55
4.1.	Resultados	55
4.2.	Contrastación de hipótesis	57
4.3.	Discusión de resultados.....	58
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		62
REFERENCIA		63
ANEXOS.....		65

Lista de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	7
Tabla 2	Coeficiente de convección del aire al exterior debido a la velocidad del viento sobre una pared simple.....	36
Tabla 3	Coeficiente de convección del aire interior sobre una pared simple	36
Tabla 4	Resumen de la conductividad térmica y el coeficiente de convección para una pared	37
Tabla 5	Resumen de la conductividad térmica y el coeficiente de convección para un portón	38
Tabla 6	Resumen de parámetros	41
Tabla 7	Resumen de áreas de los cuerpos analizados	41
Tabla 8	Ganancia de calor total por la cubierta, paredes y portón.....	42
Tabla 9	Factores y ganancias de calor por el personal operativo dentro de la nave industrial	43
Tabla 10	Resumen de la potencia por iluminación en toda la nave industrial.....	44
Tabla 11	Resumen de la potencia de los motores eléctricos en toda la nave industrial	45
Tabla 12	Resumen de la potencia de las resistencias térmicas de cada máquina ...	46
Tabla 13	Resumen de ganancias de calor	47
Tabla 14	Selección del interruptor termomagnético y cables del circuito para los ventiladores.....	54
Tabla 15	Mediciones de temperatura según día, hora y zona de medición.	56
Tabla 16	Resumen temperaturas promedio por zonas	57

Lista de Figuras

Figura 1	Tipos de ventilación ambiental	12
Figura 2	Ventilación local	13
Figura 3	Ventilación mecánica	14
Figura 4	Ventilación natural	15
Figura 5	Tipos de ventilación axial	17
Figura 6	Partes básicas de un ventilador centrífugo	19
Figura 7	Tipos de rodets en los ventiladores centrífugos	20
Figura 8	Conductividades térmicas de los materiales más comunes	23
Figura 9	Relación entre ganancia y carga térmica	28
Figura 10	Transformación de calor por una superficie aleatoria y una plana	30
Figura 11	Ubicación de la nave industrial	31
Figura 12	Resistencias térmicas para una pared simple	34
Figura 13	Valores comunes del coeficiente de convección del aire y otros gases	35
Figura 14	Valores de la estación meteorológica para San Juan de Lurigancho del día 06/02/24.....	40
Figura 15	Vista de planta de la distribución de máquinas y áreas comunes.....	50
Figura 16	Vista de planta de la distribución de ventiladores para inyección de aire fresco.	51
Figura 17	Vista de planta del sobre techo para salida de aire caliente.	52
Figura 18	Circuito de potencia y de control para cada ventilador.	53

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una fuerte competencia por liderar el mercado de extrusión de plásticos, principalmente porque en el Perú existe un alto consumo de bolsas y películas de plástico, los cuales en su mayoría son utilizados en los mercados y supermercados como medios de almacenamiento y transporte; En tal sentido, las organizaciones quieren llegar a ser competitivos y para ello tienen que mantener una estructura interna muy sólida, en constante actualización de los diseños tecnológicos que le permitan seguir en la vanguardia del crecimiento empresarial en el país.

Lima, es la región en donde se agrupa la mayor cantidad de pequeñas y medianas empresas, y San Juan de Lurigancho es el distrito con mayor población, en donde encuentra establecido la empresa de producción de plásticos la cual será la unidad de análisis, la empresa cuenta con una nave industrial acondicionada para extruir el polipropileno y para esto se utilizan las máquinas con resistencias térmicas y otras máquinas de apoyo.

Dentro de la nave se ha identificado que en todo el ambiente interior existe altas temperaturas mayores a los 30°C durante el verano, lo cual repercute negativamente sobre el personal operativo y en las máquinas Chiller provoca fallas de sobrepresión del refrigerante con una frecuencia de una vez por día como mínimo, ello conlleva a las paradas intermitentes de las máquinas de extrusión que utilizan el agua helada. En cuanto al personal operativo, genera incomodidad por la sensación térmica elevada, provocando faltas reiterativas y abandono del puesto laboral, en consecuencia, se tiene baja productividad debido a que las máquinas de producción quedan paradas por falta de personal.

En ese sentido, se realiza el estudio del diseño de un sistema de ventilación para reducir la temperatura al interior de la nave industrial a través de la remoción del aire caliente y recirculación de aire fresco en todo el ambiente interior, lo cual implica realizar los cálculos de la ganancia de calor, la selección de ventiladores y el diseño de la distribución e instalación mecánica y eléctrica de los ventiladores en la cubierta de la nave industrial.

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1. Antecedentes de la Investigación

Vasquez (2020) ¹ realizó un estudio con el objetivo de diseñar un sistema de ventilación para el área técnica de una estación de tren de la Línea 2 del Metro de Lima, que proporcione un adecuado ambiente para el funcionamiento adecuado de las maquinas. El estudio fue de nivel aplicativo, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo correlacional, la muestra de estudio fue la estación subterránea Ovalo Santa Anita (estación 21). El principal resultado es el plano de distribución de la red de conductos y los equipos ventiladores seleccionados que cumplen con las exigencias para la renovación de aire dentro de la sala de máquinas. La conclusión a la que llega el autor es que el método de eliminación de cargas térmicas por ventilación forzada es suficiente para eliminar el calor generado y mantener una temperatura adecuada dentro de la estación, así mismo, al aprovechar la temperatura del ambiente exterior, ya no es necesario un sistema de refrigeración adicional, lo cual genera un ahorro de energía.

Chilca (2021)², realizó un estudio de investigación con el objetivo de diseñar un sistema de ventilación confiable para extraer gases de escape de los cinco sótanos y un semisótano. El estudio fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y el autor ha utilizado el

¹ Vasquez Tantachuco, V. J. M. (2020). Diseño De Un Sistema De Ventilación Forzada Que Evite El Sobre Calentamiento Y Aporte La Renovación De Aire Del Area Técnica De Una Estación De Tren De La Linea 2 Del Metro De Lima.

² Chilca (2021). Diseño de un sistema de ventilación mecánica para la extracción de gases de los estacionamientos subterráneos de un edificio multifamiliar de cinco sótanos y un semisótano.

método deductivo para llegar a la solución particular aplicado en la unidad de análisis que fueron cinco sótanos y un semisótano utilizados para los estacionamientos. El resultado de la investigación fue la selección de los ventiladores, cálculo de los ductos y las velocidades de succión de 3 m/s en las rejillas de succión, de 7 m/s en los ductos secundarios y de 10 m/s en el ducto principal, permitiendo que, a través de un sistema de ventilación mixta, se pueda evacuar los gases al interior de los sótanos de manera eficaz. La conclusión a la que llega el autor es que la ventilación mecánica mixta, mantiene los espacios confortables con los usuarios de los estacionamientos ubicados en los sótanos.

Paucar (2022)³, realizó un trabajo de investigación con el objetivo de analizar un método de cálculo del caudal para la extracción de monóxido en los sótanos mediante la aplicación del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y mediante la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) lograr mejorar el sistema de ventilación. El trabajo de investigación fue aplicativo y transversal, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, en donde la unidad de análisis fueron 2 sótanos de área 2500 m² y altura 3.7 m, utilizado como estacionamiento para un gimnasio. El resultado fue el hallazgo de los caudales de 26407 CFM y 27330 CFM para los estacionamientos 1 y 2 respectivamente, y para cumplir con el requerimiento se utilizaron 10 ventiladores JET FAN, manteniendo una velocidad de 1 m/s al interior de cada estacionamiento. La conclusión a la que llega el autor es que al utilizar el RNE se logra renovar el total del volumen de aire en los 2 estacionamientos en un tiempo de 12 minutos y con ello se garantiza que no haya saturación del CO y no sobrepase la capacidad de los ventiladores JET FAN.

³ Paucar (2022). Metodología de cálculo del caudal de extracción de monóxido en sótanos de estacionamiento vehicular basado en el reglamento nacional de edificaciones y simulación CFD para mejorar el sistema de ventilación para un gimnasio.

Lituma (2024)⁴ elaboró una investigación con el objetivo de diseñar un sistema de ventilación mecánica para una nave industrial para garantizar que no se deteriore prematuramente los productos en los almacenes y mejorar las condiciones ambientales para la salud del personal operativo. El estudio fue de nivel aplicativo, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo correlacional, la muestra de estudio fue una nave industrial de almacenamiento de materias primas para la producción de neumáticos y también los productos terminados. El resultado más significativo es el diseño de 2 ductos separados y la simulación de la ventilación a partir del caudal de diseño 17000 m³/h por cada ventilador, que fueron 2 unidades en total para el ingreso de aire, en donde se registró que en la región más alejada del ducto más crítico llega una presión significativa de 174 kPa. La conclusión a la que llega el autor es que el diseño aplicado cumple con garantizar la distribución óptima del aire y la ventilación efectiva en toda la nave industrial, así como el cumplimiento de renovación de aire por normativa técnica y esto influye positivamente en salud del personal operativo dentro de la nave industrial.

1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio.

En un mundo globalizado, la información y las investigaciones se desarrollan y distribuyen tan rápido que es imprescindible para el sector empresarial estar atento a los nuevos conocimientos e innovaciones, para mejorar y permanecer a la vanguardia de las tecnologías actualizadas según el sector industrial. En ese sentido, se debe estudiar y diseñar las diversas aplicaciones tecnológicas que existen actualmente para las diversas industrias manufactureras, con el fin de optimizar los recursos, generar cambios positivos

⁴ Lituma Bravo, D. E. (2024). Diseño de sistema de ventilación mecánica para una nave industrial (Bachelor's thesis).

en la rentabilidad de los negocios y ambientes apropiados para el desarrollo y progreso de la sociedad.

A nivel nacional hay una fuerte competencia por liderar el mercado de extrusión de polipropileno, principalmente porque se trata de un país con alto consumo de bolsas de plástico los cuales en su mayoría son utilizados en los mercados y supermercados como medios de almacenamiento y transporte; En tal sentido, las organizaciones quieren llegar a ser competitivos y para ello tienen que mantener una estructura interna muy sólida, es decir la existencia de las industrias en constante actualización en los diseños tecnológicos que le permitan seguir en la vanguardia del crecimiento empresarial en el país.

La región Lima, es el área en donde se agrupa la mayor cantidad de pequeñas y medianas empresas, exactamente en el distrito de San Juan de Lurigancho se encuentra establecido la empresa de producción de plásticos, la cual posee una nave industrial acondicionada para extruir el polipropileno, es por ello que se utilizan las máquinas extrusoras con resistencias térmicas, en una variedad de diseños, para poder fusionar la materia prima.

Dentro de la nave se ha identificado que en todo el ambiente interior existe altas temperaturas mayores a los 30°C durante el verano, lo cual repercute negativamente sobre las máquinas Chiller de agua helada, provocando fallas de sobrepresión del refrigerante con una frecuencia de una vez por día como mínimo, ello conlleva a las paradas intermitentes de las máquinas de extrusión que utilizan el agua helada. También afecta al personal operativo debido a la incomodidad por la sensación térmica elevada, provocando faltas reiterativas y abandono del puesto laboral, en consecuencia, se tiene baja productividad debido a que las máquinas de producción quedan paradas por falta de personal.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema Principal.

¿De qué manera se reduce los niveles de temperatura dentro de una nave industrial de extrusión de plásticos?

1.4. Justificación e Importancia.

En la investigación se desarrolla el diseño de un sistema de ventilación eficiente para una nave industrial que conlleva a reducir los niveles de temperatura al interior de la misma, y la importancia, desde el punto de vista tecnológico, es el aporte en la selección y desarrollo de los cálculos de ingeniería sustentadas en el método de ganancias térmicas para diseñar y optar por los equipos de ventilación óptimos y necesarios que contribuyen a mejorar las condiciones ambientales internas como la temperatura, humedad y saturación del aire por los contaminantes.

Así mismo, desde el aspecto social, la mejora en la calidad del aire al interior de la nave industrial influye directamente en la disponibilidad y eficiencia en la operación de producción, debido a que las máquinas Chiller tienen mayor tiempo de operación, mejorando los tiempos operativos de las máquinas extrusoras y los operadores no abandonan sus puestos de trabajo, también con ello se promueve que la comunidad opte por trabajar en esta industria por las mejoras en las condiciones laborales del ambiente interno de la nave industrial y esto se traduce en el aumento de los puestos laborales llamativos en la localidad, con ello se realiza un pequeño pero significativo aporte al desarrollo de la industria a nivel nacional.

Desde el punto de vista económico, el desarrollo de un sistema de ventilación que mejora las condiciones internas de la nave industrial aumenta la productividad y la sostenibilidad del proceso productivo, impactando positivamente en los costos de

producción y ahorro energético, debido a que se produce mayor cantidad de producto terminado evitando paradas inesperadas por fallas en las máquinas, también se reduce los costos asociados a la alta rotación del personal operativo manteniendo la motivación y un buen ambiente laboral.

En ese sentido, la investigación es viable y necesaria por los argumentos descritos anteriormente, además, se cuenta con los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para el desarrollo, implementación y operación del sistema de ventilación, sujeto al diseño y la utilización de los parámetros propios de la unidad de estudio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de ventilación para reducir los niveles de temperatura dentro de la nave industrial de extrusión de plásticos.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Hi: El diseño de un sistema de ventilación reduce la temperatura dentro de la nave industrial de extrusión de plásticos en una fábrica envases descartables.

1.7. Variables y Operacionalización de variables.

1.7.1. Operacionalización de variables.

Para facilitar la comprensión de la relación entre las variables estudiadas, se resumen las dimensiones e indicadores, así como la definiciones conceptual y operacional de cada variable según la Tabla 1, así se puede validar rápidamente la asociación de las variables y la correlación que existe entre ellas. Esto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
V.I. Sistema de ventilación	Grupo de dispositivos mecánicos, técnicas y procesos empleados para cambiar el aire en un espacio cerrado por uno más fresco, garantizando la circulación y temperatura óptimas del aire.	Se medirá la eficiencia, distribución y ruido del sistema de ventilación general en el proceso de renovación del aire dentro de la nave industrial, que están compuesta de ventiladores, ductos y estructuras.	1. Eficiencia del sistema	- Velocidad de circulación del aire	- m/s, km/h
			2. Distribución de la ventilación	- Áreas cubiertas con aire renovado adecuadamente	- Sí/No
			3. Nivel de ruido	- Nivel de ruido generado por los equipos de ventilación	- dB (decibelios)
V.D. Temperatura al interior de la nave industrial	En términos físicos se trata de una magnitud que indica el nivel de energía térmica de un cuerpo o sustancia. En el presente contexto, se refiere al grado calor o frío existente en el aire al interior de la nave industrial.	Se medirán las lecturas de temperatura al interior de la nave industrial durante un tiempo determinado, y un área específica.	1. Temperatura general	- Promedio de temperatura a lo largo de la nave	- °C
			2. Distribución térmica	- Variación de temperatura entre distintas zonas	- °C
			3. Variación térmica	- Fluctuación de la temperatura durante el día y la noche	- °C

Nota. La variable independiente se presenta como V.I. y la variable dependiente se presenta como V.D.

1.8. Metodología de la Investigación.

1.8.1. Unidades de Análisis.

Es el sistema de ventilación de una empresa en particular dedicada al rubro de extrusión de plástico y bolsas plásticas que tiene un local con una nave industrial que ocupa un área de 1551 m², ubicado en la intersección de la Av. El Bosque con Av. Los Ciruelos en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima - Perú.

1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación.

La investigación es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y el nivel de la investigación es descriptivo correlacional; Esto se explica porque buscamos solucionar un problema real y particular, también según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indican que el enfoque cuantitativo analiza datos y variables numéricas para comprobar algunas suposiciones o hipótesis, y finalmente, buscamos la relación de nuestras variables en causa y efecto para determinar la veracidad o negación de la hipótesis planteada.

1.8.3. Diseño de la Investigación.

El diseño de la investigación es no experimental transversal, porque solo se registrará los datos una sola vez en un instante determinado, así mismo, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) se refieren al diseño no experimental a los “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de las variables” (p. 152).

1.8.4. Fuentes de Información.

Para estructurar y realizar la presente investigación, se ha revisado diversas fuentes de información agrupadas como primarias y secundarias, las cuales se van a detallar de la siguiente manera:

Una de las principales fuentes primarias son las tesis pasadas que contienen información relacionada al presente trabajo, así como los artículos científicos que

contengan las variables estudiadas, también los documentos históricos y normas técnicas relacionadas el tema de investigación que dan el enfoque y contexto al desarrollo del presente trabajo de suficiencia.

Las fuentes secundarias son los libros virtuales, artículos relacionados y otras bases bibliográficas para la ampliación de conceptos y alineación de las ideas para el desarrollo del trabajo de suficiencia actual.

1.8.5. Población y Muestra.

Mi población son todos los sistemas de ventilación que tiene la empresa estudiada, son 5 naves industriales que están separadas, distribuidas en diferentes direcciones a lo largo de la Av. El Bosque, cada uno con diferentes diseños de sistemas de ventilación. En cuanto la muestra, es un sistema de ventilación que se va a instalar en la nave industrial de 1536 m², ubicada en el cruce de Av. Los Ciruelos con la Av. El Bosque.

1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

La información y datos necesarios para el trabajo de investigación serán adquiridas y recogidas una única vez, utilizando lo siguiente:

Las técnicas empleadas son:

- a. La observación directa, lo cual nos permite constatar y validar las condiciones reales al interior de la nave industrial.
- b. La medición directa de variables través de los instrumentos instalados en diversas áreas, dentro de la nave industrial en donde se instaló el sistema de ventilación.
- c. Estudio de los procesos industriales dentro de la nave industrial para realizar los balances de las cargas térmicas.

Los instrumentos utilizados son:

- a. Termómetros de bulbo seco y húmedo, para poder realizar la medición de las temperaturas y la sensación térmica.
- b. Higrómetros, para registrar la humedad existente en el ambiente interno de la nave industrial.
- c. Anemómetros ubicados en diferentes posiciones para registrar la velocidad en diferentes áreas de la nave industrial.

1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos.

La información y datos se contrastarán con los cálculos y diseños previos, con ello se podrá comparar los resultados teóricos con los reales y llegar a las conclusiones pertinentes.

CAPÍTULO II

Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Ventilación

La ventilación es término muy utilizado en diversas áreas del desarrollo de la humanidad, enfocado principalmente a las aplicaciones industriales, médicas y del hogar, en sentido Echeverri (2020) indica que la ventilación es una “técnica que permite sustituir el aire ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características” (p.17). Así mismo, su utilidad en la industria se enfoca directamente en minimizar los contaminantes del entorno de trabajo, el calor asociado a altas temperaturas y como aporte para los procesos intrínsecos a cada proceso productivo.

En tal sentido, Soler y Palao (2012) señalan que “la ventilación de los seres vivos, las personas entre ellos, les resuelve funciones vitales como el suministro de oxígeno para su respiración y a la vez les controla el calor que producen y les proporciona condiciones de confort, afectando a la temperatura, la humedad y la velocidad del aire” (p.6) y en cuando a la ventilación en los procesos industriales Soler y Palao (2012) afirman que “permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo” (p.6).

Finalmente podemos resumir, que la ventilación es un conjunto de técnicas y procesos de vital importancia tanto para los espacios interiores y exteriores donde habitan los seres vivos, en el caso de las personas, son sus áreas de trabajo, permitiéndoles laborar en un ambiente de confort donde puedan desempeñarse con normalidad.

2.1.2. Tipos de ventilación

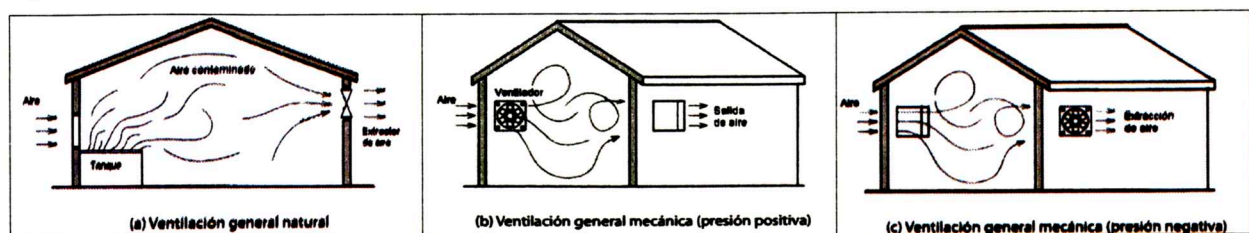
2.1.2.1. Ventilación general

La ventilación general, según Echeverri (2020) implica que “el aire que entra al local se propaga por todo el espacio del mismo local antes de alcanzar la salida” (p.19), es decir que el aire llegará a cada rincón del espacio específico homogenizando el ambiente, como puede ser una casa, oficina, espacios cerrados, edificios o naves industriales, como se puede observar en la Figura 1. Después, el aire fresco empuja y se mezcla con el aire caliente al interior de la nave industrial generando un flujo hacia el exterior, con ello se renovará el total del volumen de aire, modificando la temperatura, humedad, calor percibido y calidad del aire.

Uno de los puntos en contra es la distribución de un punto de contaminación peligrosa hacia todo el ambiente, lo cual sería perjudicial tanto para la infraestructura como para las personas. Es por ello que la ventilación general, también llamado ventilación ambiental, se utiliza cuando existen varias fuentes de calor y contaminación no tóxicas o nocivas para la salud, esto se puede observar en la siguiente figura:

Figura 1

Tipos de ventilación ambiental



Nota. Salvador Escoda S.A. *Manual práctico de ventilación*. 2ª edición. Barcelona, 1998.

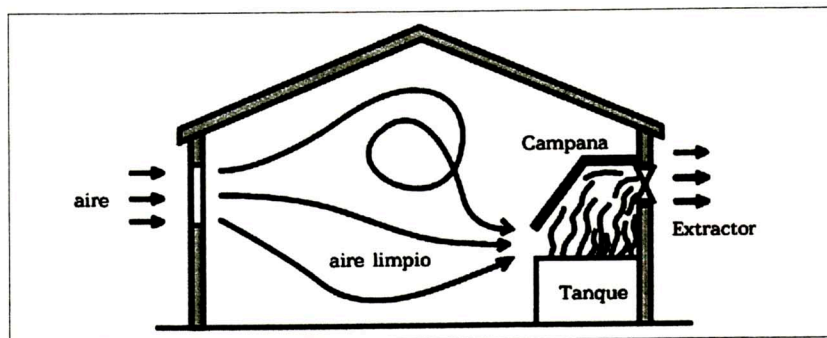
2.1.2.2. Ventilación localizada

La ventilación localizada se refiere a la renovación controlada de aire en una zona específica donde se emite el contaminante y según Soler y Palao (2012) indica que “lo

mejor es solucionar el problema de contaminación en el mismo punto donde se produce mediante la captación de los contaminantes lo más cerca posible de su fuente de emisión” (p. 24), esto se puede constatar en la Figura 2. Así mismo, la ventaja significativa de la ventilación localizada es el menor costo del proyecto en comparación a la ventilación general, esto se explica porque se requiere caudales bajos, generalmente, por estar enfocados un espacio menor dentro de un ambiente general. En la siguiente figura se puede detallar gráficamente las condiciones para la ventilación localizada:

Figura 2

Ventilación local



Nota. Salvador Escoda S.A. *Manual práctico de ventilación*. 2ª edición. Barcelona, 1998.

2.1.3. Sistemas de ventilación

Un sistema de ventilación se refiere a la configuración de uno o varios equipos mecánicos y/o estructuras diseñadas y distribuidas sistemáticamente para generar un diferencial de presión en un ambiente definido y con ello se genere un flujo de aire, provocando la renovación en el área definida y modificando los parámetros antes descritos tales como la temperatura, humedad, contaminación.

Depende el tipo de tecnología utilizada, el sistema de ventilación se divide en ventilación mecánica y natural, siendo la primera la más usual en las industrias debido a los grandes aportes de calor de las máquinas al ambiente, no es suficiente las aperturas en las

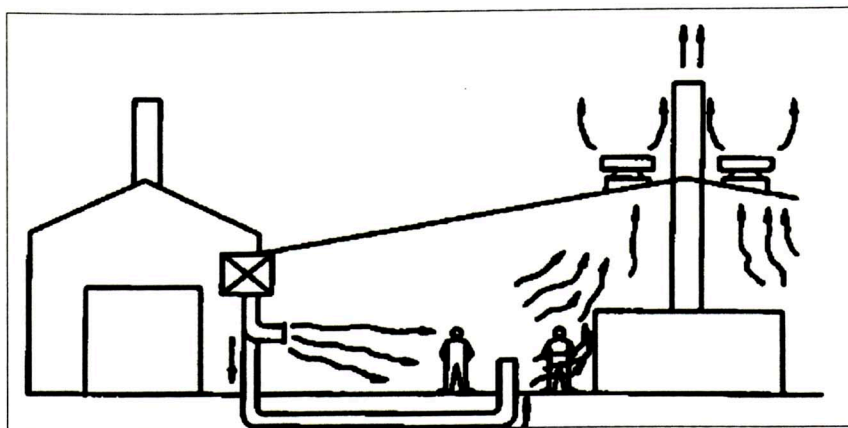
paredes o techos, y por ello existe la necesidad de expulsar el aire caliente mediante el uso de ventiladores industriales.

2.1.3.1. Sistema de ventilación mecánica

Se trata de un sistema de ventilación diseñado para recircular el aire en un espacio específico a través de la instalación de equipos impulsados con un motor eléctrico tales como los ventiladores y extractores, esto se puede apreciar en la Figura 3, con el fin de generar cambios en la temperatura, contaminantes y ambiente para los trabajadores; Todo ello es porque el sistema ofrece un flujo estable de aire que a la vez puede ser controlado y regulado a lo largo de un plazo establecido de funcionamiento, permitiendo que se pueda modificar las condiciones internas dentro de un entorno específico, como por ejemplo una nave industrial. La ventilación mecánica se utiliza en los ambientes donde la ventilación natural no puede mantener las condiciones apropiadas del aire, causando malestar en las personas y maquinas que operan dentro de un ambiente laboral, tal cual se muestra en la siguiente figura:

Figura 3

Ventilación mecánica



Nota. Governa, R., Hugues, R., & Riveira, V. (1988). *Ventilación industrial, manual de recomendaciones prácticas*. Michigan, EE.UU: Libreria de la generalitat.

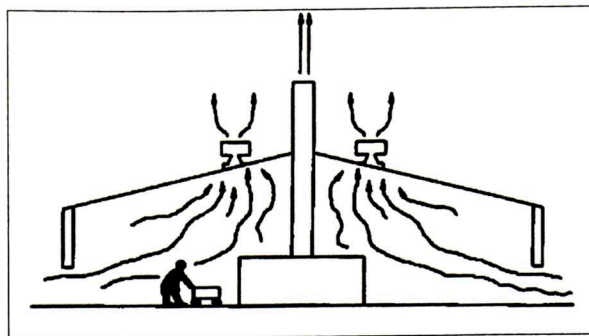
2.1.3.2. Sistema de ventilación libre o natural

El sistema de ventilación libre es aplicado para recircular el aire de manera natural con el propio impulso del aire exterior a través de la instalación de orificios o aberturas distribuidos estratégicamente para que ingrese la mayor cantidad de aire al interior del espacio a ventilar, estos orificios pueden ser ventanas, aperturas de cobertores, tragaluz, sobre techos, como se muestra en la Figura 4. El fin es generar cambios en la temperatura, contaminantes y ambiente para los trabajadores con bajos costos en infraestructura, implementación y mantenimiento. Un punto en contra es que el sistema ofrece un flujo de aire muy variable que a la vez no es controlado, ocasionando que las variables como la temperatura y calidad de aire sean inestables.

Comúnmente, la ventilación natural se utiliza en los ambientes donde hay muy poca recurrencia de personas ni procesos productivos que modifiquen las propiedades naturales del aire y finalmente donde la variabilidad de la temperatura y calidad de aire no influya en la utilización o disposición del espacio. Para hacernos una idea general del presente sistema de ventilación, tenemos la siguiente figura:

Figura 4

Ventilación natural



Nota. Governa, R., Hugues, R., & Riveira, V. (1988). *Ventilación industrial, manual de recomendaciones prácticas*. Michigan, EE.UU: Librería de la generalitat.

2.1.3.3. Sistema de ventilación mixta

Se refiere a la aplicación de los sistemas de ventilación mecánica y natural, con el fin de optimizar los recursos y minimizar los gastos post instalación. La configuración es variada y va a depender si queremos inyectar flujo de aire a través de ventiladores, también denominado de presión positiva, o si se va a extraer el aire del ambiente instalando extractores, también denominado de presión negativa.

2.1.4. Ventiladores

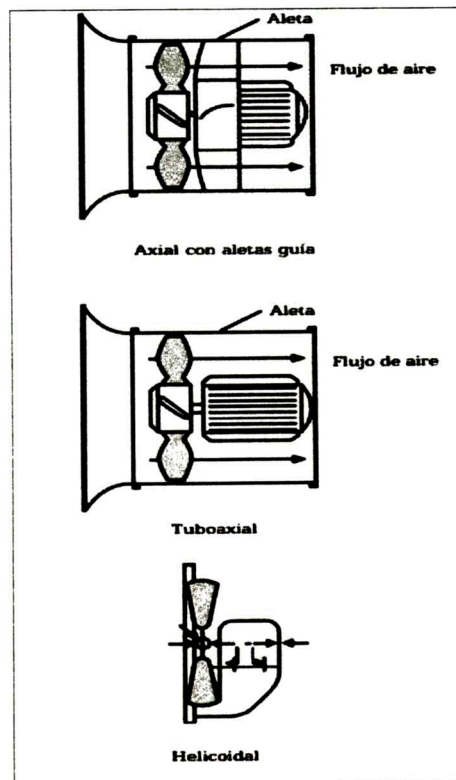
Los ventiladores, según Echeverri (2020) se definen como máquinas capaces de proporcionar energía cinética al aire para vencer las pérdidas de presión, también precisó que estas máquinas son constituidas esencialmente por un rodete (impulsor) con el que se transforma la energía mecánica en energía cinética. Así mismo menciona que según la dirección del ingreso y salida del aire a través de la máquina ventiladora, se pueden dividir en dos grandes grupos: Ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos.

2.1.4.1. Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales mantienen el flujo de aire en la misma dirección del eje, es decir que la dirección del aire de ingreso es igual a la salida como se muestra en la Figura 5, y según Governa, Hugues, y Riveira (1988) indican que “existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: Helicoidales, tubulares y tubulares con directrices” (p. 6-2). A continuación, para poder identificar gráficamente la principal característica de cada tipo de ventilador axial, presentamos la siguiente figura:

Figura 5

Tipos de ventilación axial



Nota. Echeverri C. (2020). *Ventilación industrial 2a Edición*. Ediciones de la U.

a. Ventiladores helicoidales

Su diseño permite trasladar grandes masas de aire, pero en que no haya mucha resistencia en el flujo, debido a que el ventilador no genera mucha presión y es por ello que su aplicación es principalmente en ambientes abiertos sin obstrucción al movimiento del aire, también es común encontrarlos en la ventilación general de espacios amplios o naves industriales. Así mismo es importante resaltar que los ventiladores helicoidales pueden vencer la resistencia al flujo de aire hasta en 25 mmca.

b. Ventiladores tubulares

El impulsor del ventilador está constituido de aspas principalmente estrechas, de perfil constante o aerodinámicas, y en todos los casos están dentro de una

carcasa de forma cilíndrica, pero no cuentan con alguna estructura que pueda rectificar el flujo continuo del aire. También cabe mencionar que los ventiladores tubulares pueden vencer resistencia moderadas de al menos 50 mmcda.

c. Ventiladores tubulares con directrices

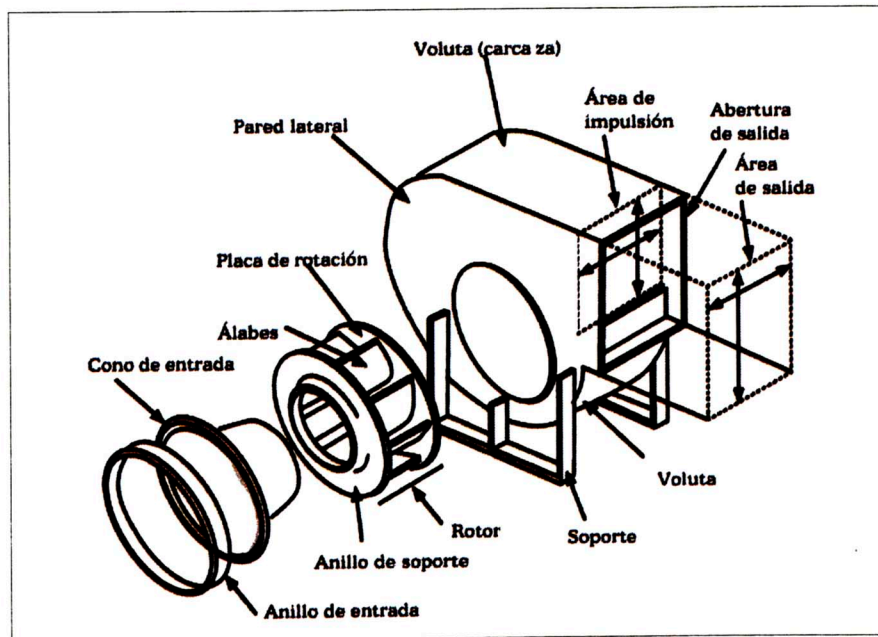
Los ventiladores tubulares con directrices son similares a los ventiladores tubulares simples, con la particularidad que tiene un corrector de flujo que enderezan el flujo de aire, instaladas normalmente de lado de la impulsión del impelente. Todo el diseño permite que tenga un alto rendimiento en comparación de a los otros tipos de ventiladores axiales, generando presiones hasta 200 mmcda, pero sacrificando una parte del caudal neto de aire a mover.

2.1.4.2. Ventiladores centrífugos

Según Echeverri C. (2020) los ventiladores centrífugos cambian la dirección de aire de entrada a un flujo perpendicular y tangencial al rotor, luego captados en la voluta o carcasa que soporta toda la estructura según se puede apreciar en la Figura 6, es por ello que tienen bajos rendimientos debido a los choques y remolinos por el cambio de dirección, pero a pesar de esta condición siguen generando mayores presiones en comparación de con los ventiladores axiales, es por ello que como regla general se utiliza estos tipos de ventiladores, según Governa, Hugues, y Riveira (1988) “para caudales de aire menores y pérdida de carga elevada” (p. 6-2). Para poder mostrar a detalla de los elementos básicos que componen el ventilador centrífugo, presentamos la siguiente figura:

Figura 6

Partes básicas de un ventilador centrífugo



Nota: Echeverri C. (2020). *Ventilación industrial 2a Edición*. Ediciones de la U.

Así mismo Governa et al (1988) explica que los ventiladores centrífugos se subdividen en tres tipos según su rodete (rotor) y las palas o álabes que la conforman, que son: palas curvadas hacia adelante, radiales al eje y curvadas hacia atrás, como se muestra en la Figura 7, los cuales se definen de la siguiente manera:

a. Ventiladores de álabes curvados hacia adelante

El diseño del ventilador tiene los álabes orientados en dirección del flujo de salida, además de poseer características de bajo ruido y estructura general más pequeña que los otros tipos de ventiladores centrífugos, cabe resaltar que la aplicación ideal es cuando la presión estática necesaria es baja o mediana.

b. Ventiladores de álabes radiales

Los álabes están dispuestos de forma radial al eje del rodete, esto facilita que se el polvo u otros contaminantes abrasivos no se impregne en la superficie

permitiendo su aplicación para lugares o ambientes con el aire más contaminados, es decir para sistemas de ventilación localizada. Una desventaja es que el nivel de ruido aumenta en función a la velocidad de giro del rodete.

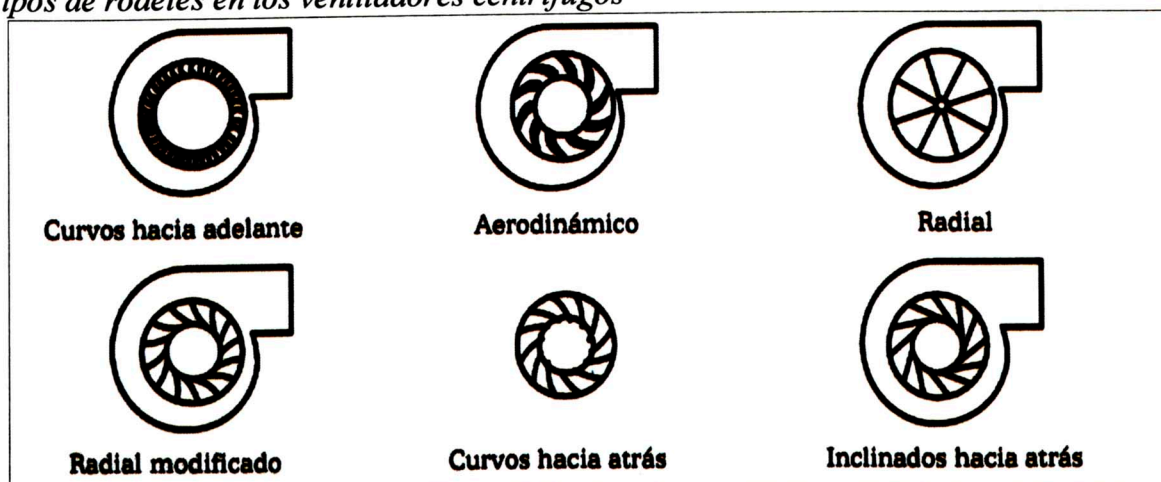
c. Ventiladores de álabes curvados hacia atrás

La familia de ventiladores de álabes curvados tiene un rodete con los álabes curvados en dirección contraria al giro, esta configuración permite que se tenga los mayores valores de rendimiento y velocidades periféricas en comparación con los otros tipos de ventilador centrífugo, así mismo el nivel de ruido es bajo a moderado, más la principal ventaja es que no es sobre cargable, es decir que el consumo de potencia es directamente proporcional con el rendimiento y cuando aparezca resistencias a sistema resultará en un menor consumo de energía.

Dependiendo del perfil del álabe, como álabes rectos de espesor constante o álabes aerodinámicos (portantes), se genera numerosos tipos de ventiladores centrífugos especiales, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7

Tipos de rodetes en los ventiladores centrífugos



Nota: Echeverri C. (2020). *Ventilación industrial 2a Edición*. Ediciones de la U.

2.1.5. El Aire y la temperatura

El aire, al estar compuesto por nitrógeno al 78%, oxígeno al 21% y otros gases, pueden transportar la energía térmica por conducción, convección y radiación. Según Incropera y DeWitt (1996), el aire posee una baja conductividad térmica, por lo que no es recomendable para la transmisión de calor por conducción. Pero como tiene la versatilidad para formar flujos y corrientes, es un elemento apropiado para estudiarlo desde la transferencia de calor por convección, sea mecánica o natural. Así mismo, Incropera y DeWitt (1996) indican que los factores principales que intervienen en la convección por aire son la viscosidad, velocidad de flujo y la temperatura, habiendo un cuarto factor que es la geometría considerada para las máquinas fabricadas con una forma particular para la transferencia de calor.

La temperatura, según Cengel y Ghajar (2007), “es una medida de las energías cinéticas de las partículas, como las moléculas o los átomos de una sustancia” (p. 20). También indican que, en el caso de los gases, la energía cinética de sus moléculas es la suma de sus movimientos de traslación, rotación y vibración. Las unidades más comunes para la temperatura son: Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y Kelvin (K). Así mismo, la temperatura se puede medir de la siguiente manera:

Temperatura de Bulbo Seco (TBS)

Es la temperatura registrada por un termómetro expuesto al aire ambiental y no está expuesto a algún líquido o humedad de forma artificial o intencional.

Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH)

Es la temperatura registrada por un termómetro expuesto al aire, pero envuelto con un paño húmedo y cuando el agua del paño se evapora hace que el bulbo se enfríe ligeramente, es por ello que comúnmente la TBS es mayor a la TBH y esta diferencia disminuye cuando la Humedad del ambiente aumenta.

2.1.6. Conductividad térmica

Es una forma de evaluar la habilidad de un material para transportar el calor, en ese sentido según Cengel y Ghajar (2007) la conductividad térmica se define técnicamente como “la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura” (p. 20). Entonces, se explica que a mayor conductividad térmica de un material significa que puede conducir mejor el calor, por ejemplo, los metales en su mayoría como se muestra en la Figura 8, y el caso contrario cuando tiene bajos valores significa que no conduce óptimamente el calor y puede funcionar como aislante en casos aplicativos. A continuación, se presenta las conductividades térmicas de los materiales más comunes en la siguiente figura:

Figura 8

Conductividades térmicas de los materiales más comunes

Material	k, W/m · °C*
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

*Multiplíquese por 0.5778 para convertir a
Btu/h · ft · °F.

Nota. Fuente de Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Vol. 53). New York, NY, USA: McGraw-Hill Interamericana.

De la Figura 8, se puede evidenciar que el aire, y los gases en general, poseen un bajo valor de conductividad térmica (0.026 W/m.°C). Así mismo, Cengel y Ghajar (2007) afirman que la “conductividad térmica de los gases es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura termodinámica T e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa molar M . Por lo tanto, la conductividad térmica de un gas crece al aumentar la temperatura y al disminuir la masa molar” (p. 20).

2.1.7. El calor y la transferencia de calor

Según Cengel y Ghajar (2007), el concepto de calor se refiere con precisión a la transferencia de energía térmica entre sistemas, iniciada únicamente por la diferencia de temperatura que poseen los sistemas antes descritos. Cengel y Ghajar (2007) también señala que, aunque el lenguaje técnico prefiere el término “energía térmica” para no incurrir en

confusiones, el término "calor" se mantiene vigente por su fuerte arraigo en el vocabulario popular que "hace referencia a las formas latente y sensible de la energía interna que se puede transferir" (p. 9).

2.1.7.1. Transferencia de calor

Incropera y DeWitt (1999) indican que es un fenómeno muy estudiado por la ingeniería en todas las áreas, debido al uso práctico que se puede emplear con el entendimiento de las causas y consecuencias, en ese sentido Cengel y Ghajar (2007) indican que "el requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura" (p. 2).

El estudio amplio del calor y la transferencia de calor, han concluido que hay tres maneras diferentes de transmitir el calor, así lo explican Cengel y Ghajar (2007) argumentando que "el calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja" (p. 17).

2.1.7.2. Conducción

El método de transferencia de calor por conducción es bien estudiado por Cengel y Ghajar (2007) quienes definieron a la conducción como "la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas" (p. 17), en ese sentido la transmisión será más eficaz y rápida para los sólidos ya que las moléculas se encuentran adyacentes en comparación a los líquidos y gases.

2.1.7.3. Convección

Según Cengel y Ghajar (2007) definen a la convección como “el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección” (p. 25). En ese sentido también especifica que la convección forzada se refiere al uso de equipos mecánicos que fuerzan al fluido a fluir en la superficie provocando la transferencia de calor, pero cuando el fluido es empujado por las fuerzas inducidas por la de diferencia de densidades debido a una variación de temperatura no provocada intencionalmente se refiere a la convección natural.

Para el presente estudio, ocurre la transferencia de calor por convección desde las paredes y cobertores hacia el aire que se encuentra al interior de la nave industrial, el fenómeno ocurre porque las paredes y cobertores ganan temperatura y calor debido a la radiación solar del medio exterior. Así mismo, también ocurre con los diversos equipos como los motores y resistencias que generan calor el cual es finalmente captado por el aire. En consecuencia, se diseña un sistema de ventilación mecánica el cual inyectará aire a menor temperatura del medio ambiente exterior y expulsará el aire caliente al interior de la nave industrial, esto provocará un flujo continuo de renovación aire y transferencia de calor.

2.1.7.4. Radiación

En cuanto a la transferencia de calor por radiación, Cengel y Ghajar (2007) son claros definiendo que “la radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la

transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor” (p. 27), así mismo Cengel y Ghajar (2007) indican que todo cuerpo o sistema emite radiación térmica siempre y cuando su temperatura absoluta sea mayor a cero.

2.2. Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos

Aire húmedo: Aire que se encuentra mezclado con partículas de vapor de agua.

Aire puro: Aire cuyo nivel de contaminación no accede la indicada.

Aire seco: Aire libre de partículas de agua.

Aire: Mezcla gaseosa que se encuentra en el medio ambiente compuesta de varios elementos químicos entre los que destacan el oxígeno y el nitrógeno.

Alabe: Aleta de hélice o de rodete donde el aire choca y genera el movimiento del rotor.

Calidad de aire: Nivel de limpieza de aire libre de sustancias contaminantes.

Caudal: Rapidez con la que el volumen de un fluido se traslada a través de una sección dada.

Conducto: Elemento diseñado para la transferencia de aire.

Confort: Sensación de bienestar y comodidad.

Curva característica: Curva que muestra la relación de presión y caudal de un ventilador en específico.

Difusores: Rejillas por donde pasa el aire hacia los ambientes.

Extracción: Extracción de aire desde los ambientes hacia el sistema de ventilación.

Fluido: Sustancia que puede estar en estado líquido o en estado gaseoso.

Impulsión: Inyección de aire desde el sistema de ventilación hacia los ambientes a ventilar.

Maquinas electrostáticas: Maquinas eléctricas cuya función es intercambiar un tipo de energía eléctrica por otro tipo de energía eléctrica sin generar ningún tipo de movimiento

mecánico.

Renovación de aire: Cambio total del volumen de aire que ocupa un local.

Ruido: Sonido desagradable que se encuentra en niveles de frecuencia que perturban el oído humano.

Sobre presión: Presión superior a la presión atmosférica.

Zona de trabajo: Zona de la curva característica donde el ventilador trabaja de manera más eficiente.

CAPÍTULO III

Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Consideraciones iniciales

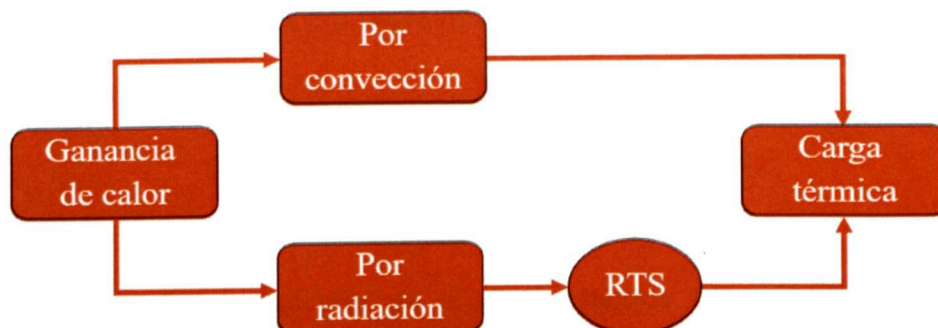
Debemos entender a la carga térmica como todo elemento que cambia la temperatura y la humedad dentro de un recinto, así mismo la carga térmica total resulta de la suma de la carga térmica sensible y latente, como se puede apreciar en la Figura 9. Para nuestro caso no vamos a realizar cambios en el estado físico del agua presente en el ambiente, porque vamos a limitar la disminución de la temperatura antes del punto de rocío, por lo dicho anteriormente se considera para los cálculos solo la carga sensible que realiza cambios de temperatura y humedad en el aire.

Cabe resaltar que la carga total comunicada al aire se debe a la suma de la ganancia de calor por convección y a la ganancia de calor por radiación se liberará lentamente mediante la convección, esto último porque la radiación es absorbida por las paredes y cerramientos del local y luego transferidos al aire en forma de calor, el tiempo de liberación dependerá de la masa de los objetos que absorben la radiación solar.

A continuación, se presenta gráficamente la relación que existe entre la ganancia de calor y la carga térmica en la siguiente figura:

Figura 9

Relación entre ganancia y carga térmica



Nota. Adaptado de DTIE 7.05: *CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS*

El método de series temporales radiantes (RTS) es una técnica para calcular la carga térmica de un edificio o espacio, que simplifica el análisis de la transferencia de calor por radiación y convección. Divide la ganancia de calor en fracciones radiantes y convectivas, considerando que la fracción radiante es absorbida por los elementos constructivos y luego se re-emite por convección.

Las cargas térmicas para determinar en el local (nave industrial) están bien definidos, los cuales se agrupan como conjunto de cargas al exterior: las paredes laterales de todo el local, los techos o cobertores, ventanas, el portón principal. En cuanto a las cargas terminas al interior son las siguientes: personas que trabajan dentro del local, la iluminación, las máquinas y motores.

Inicialmente tenemos que todas las ganancias de calor, principalmente por convección, generan un cambio en la energía en el ambiente interior de la nave industrial, esto se puede validar con la siguiente ecuación:

$$Q_{conv. cerramiento} + Q_{conv. internas} + Q_{sensibles, infiltración, ventilación} = \frac{\Delta E_{int}}{\Delta t}$$

Así mismo, tenemos el objetivo de reducir la temperatura al interior de la nave industrial y para ello calcularemos cada ganancia de calor de manera separada, considerando que el calor se transfiere en su totalidad al ambiente interior, es decir que el calor transmitido en los objetos y/o sistemas intermedios se considera un balance de cero, según la ecuación:

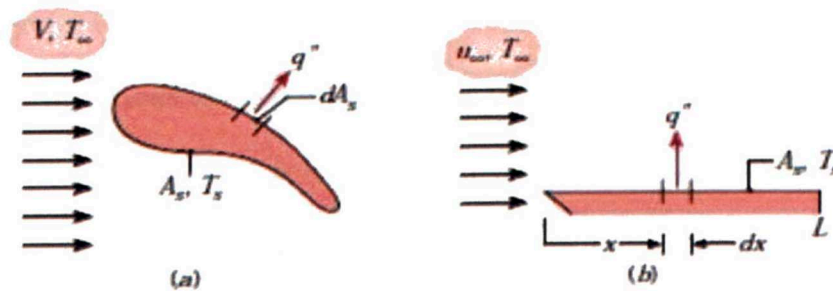
$$Q_{radiación} + Q_{convección} + Q_{conducción} = 0$$

Entonces, se va a calcular de manera separada las ganancias de calor por convección, conducción y por radiación, para ello se utilizará las siguientes formulas:

A) Para la transferencia de calor por convección, se plantea una ecuación a partir de la siguiente figura, según Incropera y Dewitt (1996):

Figura 10

Transformación de calor por una superficie aleatoria y una plana



Nota: Incropera y Dewitt (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer (Vol. 6)*. New York: Wiley. (p. 353)

De la Figura 10 y considerando un coeficiente de convección promedio a lo largo y ancho de la superficie, quedaría la ecuación simplificada:

$$q = \bar{h} \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty})$$

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección

As: Área de la superficie en contacto con el aire

Ts: Temperatura en la superficie

T ∞ : Temperatura del aire alejado de la superficie

B) Para la transferencia de calor por conducción, utilizamos la ecuación siguiente según Incropera y Dewitt (1996):

$$q = U \cdot A_s \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Donde:

U: Coeficiente de transferencia de calor por convección.

As: Área de la superficie.

Text: Temperatura en la superficie exterior del sistema.

Tint: Temperatura en la superficie interior del sistema.

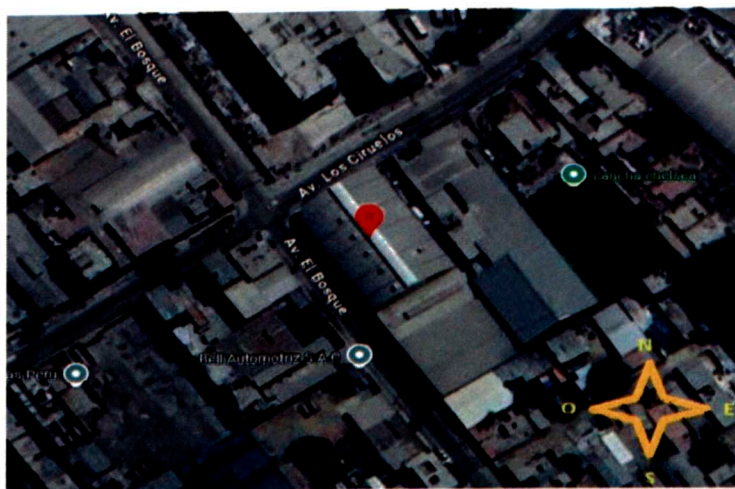
- C) Para el caso de la transferencia de calor por radiación, utilizaremos tablas de aportaciones netas de calor por radiación y correcciones según la ubicación geográfica del ambiente estudiado.

3.2. Características estructurales de la nave industrial

La estructura portante son columnas de concreto armado de 50 x 30 cm, separados como máximo a 3.45 metros y siendo un total de 35 columnas distribuidas en todo el perímetro del terreno. Luego tenemos la cubierta (techo) ligera simple diseñada a dos aguas idénticas de ancho 15.5 m y largo 41.4 m cada una, el techo es de lámina galvanizada simple (calaminas) tipo acanalada de perfil trapezoidal con un área total de 1283.4 m², ubicado exactamente en 11°58'58.5" al sur de ecuador y a 77°00'00.3" al oeste del meridiano de Greenwich, y para verificar gráficamente la ubicación de la nave industrial se presenta la siguiente figura:

Figura 11

Ubicación de la nave industrial



Nota: Google Maps

El cerramiento está constituido por 4 muros de ladrillos simple (paredes de ladrillos y mortero) distribuidos en todo el perímetro del total del terreno, es importante resaltar que 2 muros son colindantes con las paredes vecinas y los otros 2 muros están dispuestos a la avenida, es decir que el sol le da directamente durante la tarde. Las dimensiones de los muros son:

Muro 1 (Av. Los Ciruelos): Tienen medida de 24.5 m de largo y 5.22 m de alto, el espesor es de 12.5 cm y no tiene acabado ni pintura.

Muro 2 (Av. El Bosque): Tienen medida de 37.95 m de largo y 5.22 m de alto, el espesor es de 12.5 cm y no tiene acabado ni pintura.

Por último, tenemos el portón principal que se encuentra en la esquina de la nave industrial mirando hacia la avenida, es decir que el sol le da directamente durante la tarde; El portón es de plancha de acero galvanizado de espesor 3mm, cuya dimensión total es de largo 4.87 m y alto 5.22 m.

3.3. Ganancia de calor debido a los muros y techos debido a la radiación absorbida

En primer lugar, es importante especificar los datos de ubicación geográfica y la fecha de toma de datos, con el fin de considerar las condiciones ambientales con mayor incidencia del sol durante el año, en ese sentido tenemos las siguientes condiciones iniciales:

La ubicación exacta de la nave industrial, según la Figura 11, es 11°58'58.5"S y 77°00'00.3"W (Información extraída de Google Maps.).

En febrero se tiene los días de mayor temperatura, siendo la temperatura máxima de 32.9 °C, en promedio de TBS 29,01 °C y humedad 57,8%, entre las 11 am hasta las 6pm.

(Senamhi)

Recomendación de diseño TBS 28°C, TBH es 20°C, HR 70-80%. (ASHRAE Handbook – Fundamentals)

La temperatura y humedad de confort dentro de la nave es de 26°C y 50-60% respectivamente (ASHARE 55-2020 e ISO 7730)

Para nuestros cálculos vamos a considerar un punto intermedio de temperatura igual a 27 °C (80.6 °F), es decir 5.9 °C menos que la temperatura máxima.

Para poder determinar la ganancia de calor por la radiación del sol, se va a considerar una variación de temperatura equivalente que pueda representar todo el calor ganado por las paredes y cubierta durante un tiempo crítico y con ello simplificar el cálculo con la siguiente ecuación:

$$Q_p = U \cdot A \cdot (\Delta t_{eq}) \quad (1)$$

Donde:

Q_p : Calor ganado en la pared o cubierta

U : Coeficiente de transferencia global de calor a través de las paredes y cubiertas

A : Área de la pared o cubierta

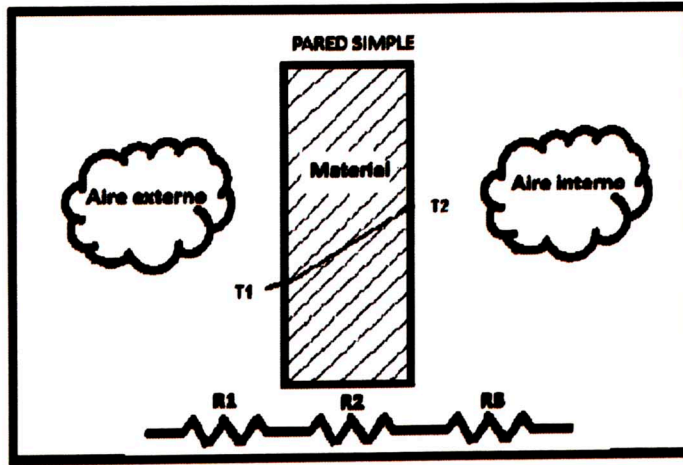
Δt_{eq} : Diferencia equivalente de temperatura

3.3.1. Determinación del coeficiente de transferencia de calor global (U)

El coeficiente de transferencia de calor global es un indicador que representa la capacidad de un sistema para transferir por medio de una superficie integrado por varias resistencias térmicas consecutivas, como se muestra en la Figura 12, en donde se considera la convección del lado caliente y frío, así como la conducción por la pared, para nuestro caso se utiliza la siguiente fórmula para paredes y cubierta simples a partir de la siguiente figura:

Figura 12

Resistencias térmicas para una pared simple



De la Figura 12, las resistencias 1, 2 y 3 toman valores según el medio, para nuestro caso el aire externo, aire interno y la pared, teniendo la siguiente equivalencia:

$$\frac{1}{U} = R_{total} = R_{conv,ext} + R_{cond} + R_{conv,int} + R_f$$

Donde:

U: Coeficiente de transferencia de calor global

R: Resistencia térmica ($m^2 \cdot K / W$)

R_f: Resistencia térmica por capas adicionales de polvo, considerando que hay una rutina de limpieza constante, se considera 0.

De la ecuación anterior, se reemplaza el equivalente en función a los coeficientes de convección y conductividad, luego obtenemos el coeficiente de transferencia global de calor (U):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2} \quad (2)$$

Donde:

h_1 : Coeficiente de convección del lado caliente ($W/m^2 \cdot K$)

h_2 : Coeficiente de convección del lado caliente ($W/m^2 \cdot K$)

L : Espesor del material de separación (m)

k : Conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$)

3.3.2. Coeficiente U para las paredes 1 y 2, el portón y la cubierta

Las paredes de la nave industrial están constituidas de materiales idénticos, por ello hallaremos un único coeficiente U para ambos, y para determinar la conductividad térmica (k) del material, se consulta la tabla A1 ubicado en el Anexo A. Luego, para determinar los coeficientes de convección del aire usaremos la Figura 13, que servirá como referencia para tener un rango adecuado del coeficiente de convección del aire según se muestra en la siguiente figura:

Figura 13

Valores comunes del coeficiente de convección del aire y otros gases

Type of convection	$h, W/m^2 \cdot K^*$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

Nota: Cengel – *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications* (p. 26)

Teniendo en cuenta que el coeficiente convección del aire varía directamente con la velocidad del flujo, se toma la recomendación de las siguientes tablas:

Tabla 2

Coefficiente de convección del aire al exterior debido a la velocidad del viento sobre una pared simple

Velocidad del viento (m/s)	Coefficiente de convección h (W/m ² *K)
3,33	23,30
5,00	29,10
6,67	34,90

Nota. Adaptado de la Revista *Mundo HVAC&R* (Julio 2008)

[\(https://www.mundohvacr.com/2008/07/calculo-de-transmision-en-elementos-constructivos-y-temperatura-de-sus-superficies/\)](https://www.mundohvacr.com/2008/07/calculo-de-transmision-en-elementos-constructivos-y-temperatura-de-sus-superficies/)

Tabla 3

Coefficiente de convección del aire interior sobre una pared simple

Superficie	Coefficiente de convección h (W/m ² *K)
Vertical	9,3
Horizontal con flujo hacia abajo (techo al piso)	7
Horizontal con flujo hacia abajo (piso hacia el techo)	10,5

Nota. Adaptado de la Revista *Mundo HVAC&R* (Julio 2008)
[\(https://www.mundohvacr.com/2008/07/calculo-de-transmision-en-elementos-constructivos-y-temperatura-de-sus-superficies/\)](https://www.mundohvacr.com/2008/07/calculo-de-transmision-en-elementos-constructivos-y-temperatura-de-sus-superficies/)

Teniendo en cuenta que el promedio de la velocidad del viento en el exterior es de 2.3 m/s según los datos SENAMHI mostrados en la Figura 14 y el flujo de aire exterior

incide sobre las paredes verticales de la nave industrial, se obtiene los coeficientes de convección de la Tabla 2 y la Tabla 3. Luego se resume la información para una pared simple en relación con el aire interior y exterior, en la siguiente tabla:

Tabla 4

Resumen de la conductividad térmica y el coeficiente de convección para una pared

Resistencias	Espesor L (m)	Conductividad térmica k (W/m*K)	Coeficiente de convección h (W/m ² *K)
Aire exterior	—	—	23,3
Pared de ladrillo	0,125	0,72	—
Aire interior	—	—	9,3

Nota. El espesor de la pared se obtiene de la medición realizada en la nave industrial.

Se utiliza la información de la Tabla 4 y se reemplaza los datos en la ecuación 2:

$$1/U = 1/23,3 + 0,125/0,72 + 1/9,3 = 0.324 \text{ (m}^2\text{*K / W)}$$

Finalmente tenemos:

$$U \text{ paredes} = 3.085 \text{ (W/m}^2\text{*K)}$$

Coeficiente U para el portón:

Para el portón, se utiliza la conductividad térmica suministrada por el fabricante, quien indica un rango entre 85 a 90 (W/m*K), luego con los datos de coeficiente de convección de la Tabla 2 y la Tabla 3, se resumen los valores en la siguiente tabla:

Tabla 5

Resumen de la conductividad térmica y el coeficiente de convección para un portón

Resistencias	Espesor L (m)	Conductividad térmica k (W/m*K)	Coeficiente de convección h (W/m ² *K)
Aire exterior	—	—	23,3
Portón de acero galvanizado	0,003	90	—
Aire interior	—	—	9,3

Nota. Los datos de coeficiente de convección del aire son los mismos para el portón debido a que se encuentran en las mismas condiciones ambientales.

Con la información de la Tabla 5 se reemplaza los datos en la ecuación 2:

$$1/U = 1/23,3 + 0,003/90 + 1/9,3 = 0,150 \text{ (m}^2\text{*K / W)}$$

Luego tenemos:

$$U_{\text{portón}} = 6.64 \text{ (W/m}^2\text{*K)}$$

Coeficiente U para la cubierta:

Para la cubierta usaremos la tabla A2 del Anexo A, donde indica el siguiente dato:

$$U_{\text{cubierta}} = 3.63 \text{ (W/m}^2\text{*K)}$$

3.3.3. Cálculo de la Diferencia Equivalente de Temperatura

La temperatura interior de la nave industrial, la temperatura exterior y la radiación solar son variables que cambian con el pasar del tiempo debido a que no es homogéneo la incidencia del sol sobre las estructuras, en consecuencia, el flujo de calor es inestable a través de la estructura. Para solucionar el inconveniente de la inestabilidad, se utiliza el

termino de Diferencia Equivalente de Temperatura que se define según Carrier (1965) como la representación de la diferencia de temperatura equivalente al flujo total de calor producto de radiación solar variable durante un periodo de tiempo fijo.

Para determinar la diferencia equivalente de temperatura se tomará como base los datos de la tabla A3 del Anexo A, estos valores son tabulados para el mes de julio a 40º latitud norte, y para determinar el equivalente en nuestra ubicación geográfica se tiene que realizar la corrección mediante la siguiente ecuación de Carrier (1965):

$$\Delta t_{eq} = \alpha + \Delta t_{es} + b \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \cdot (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (3)$$

Donde:

Δt_{eq} : Diferencia equivalente de temperatura.

α : Corrección de temperatura cuando la diferencia entre la temperatura exterior e interior es menor a 15 °F.

Δt_{es} : Diferencia de temperatura exterior a la sombra.

b: Variable por el color de la pared.

R_s : Aportación solar máxima según el día, la latitud y el mes.

R_m : Aportación solar máxima a 40º de Latitud Norte en el mes de Julio.

Δt_{em} : Diferencia de temperatura en la pared.

Así mismo, se va a considerar el mes con mayor temperatura para determinar la situación más crítica de radiación solar, para ello recurrimos a la información pública de SENAMHI que se muestra en la Figura 14, en donde se evidencia que se registraron los mayores valores de temperatura en el mes de febrero, siendo el día 06/02/24 el más crítico, esto se corrobora en la siguiente figura:

Figura 14

Valores de la estación meteorológica para San Juan de Lurigancho del día 06/02/24

Estación: SAN JUAN DE LURIGANCHO						
Departamento: LIMA		Provincia: LIMA		Distrito: SAN JUAN DE LURIGANCHO		
Latitud: 11°58'53.89"S		Longitud: 76°59'57.29"W		Altitud: 240 msnm.		
Tipo: Automática - Meteorológica		Código: 112267				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
06/02/2024	0:00	25,50		74,98	S/D	2,1
06/02/2024	1:00	24,90		77,51	S/D	2,9
06/02/2024	2:00	24,80		79,81	S/D	1,7
06/02/2024	3:00	24,40		83	S/D	1,7
06/02/2024	4:00	24,50		81,2	S/D	0,1
06/02/2024	5:00	25,10		78,14	S/D	0,1
06/02/2024	6:00	25,60		74,44	S/D	0,4
06/02/2024	7:00	25,90		72,62	S/D	0,1
06/02/2024	8:00	26,60		69,64	S/D	0,1
06/02/2024	9:00	29,40		56,14	S/D	1,1
06/02/2024	10:00	31,10		47,45	S/D	2,3
06/02/2024	11:00	32,70		45,29	S/D	3,1
06/02/2024	12:00	32,40		46,52	S/D	4
06/02/2024	13:00	32,60		46,33	S/D	4,7
06/02/2024	14:00	32,90		44,05	S/D	3,6
06/02/2024	15:00	32,50		48,62	S/D	4
06/02/2024	16:00	31,30		51,71	S/D	3,8
06/02/2024	17:00	30,00		56,1	S/D	4,2
06/02/2024	18:00	28,30		61,76	S/D	3,8
06/02/2024	19:00	27,00		62,18	S/D	2,7
06/02/2024	20:00	26,70		59,28	S/D	2,1
06/02/2024	21:00	26,30		60,91	S/D	2,2
06/02/2024	22:00	26,30		59,74	S/D	1,9
06/02/2024	23:00	26,10		60,72	S/D	2,5

Nota. Adaptado de SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>)

Se tiene en cuenta que el coeficiente “a” se considera cero porque ninguna Δt_{es} supera los 15 °F, luego el coeficiente “b” se considera 1 porque las paredes o cubiertas no tienen ningún color o acabado adicional y para determinar los otros valores de los parámetros Δt_{es} , Δt_{em} , R_s y R_m , vamos a recurrir a las tablas A3, A4 y A5 de Anexo A.

En la siguiente tabla se resume todos los datos obtenidos de las tablas del Anexo A:

Tabla 6

Resumen de parámetros

Objeto	Ubicación	Horario (pm)	a	Δt_{es}	b	R_s	R_m	Δt_{em}	Δt_{eq}
Pared 1	Noroeste (NW)	2	0	6	1	94	127	8	7,48
Pared 1	Noroeste (NW)	3	0	8	1	94	127	10	9,48
Pared 1	Noroeste (NW)	4	0	10	1	94	127	12	11,48
Pared 1	Noroeste (NW)	5	0	11	1	94	127	21	18,40
Pared 1	Noroeste (NW)	6	0	12	1	94	127	30	25,32
Pared 2	Suroeste (SW)	2	0	6	1	130	125	12	12,24
Pared 2	Suroeste (SW)	3	0	8	1	130	125	24	24,64
Pared 2	Suroeste (SW)	4	0	10	1	130	125	32	32,88
Pared 2	Suroeste (SW)	5	0	11	1	130	125	35	35,96
Pared 2	Suroeste (SW)	6	0	12	1	130	125	36	36,96
Cubierta	Horizontal	2	0	12	1	250	233	30	31,31
Cubierta	Horizontal	3	0	13	1	250	233	36	37,68
Cubierta	Horizontal	4	0	14	1	250	233	41	42,97
Cubierta	Horizontal	5	0	13	1	250	233	43	45,19
Cubierta	Horizontal	6	0	12	1	250	233	43	45,26

Nota. La orientación de la pared 1 y pared 2 se obtienen de la Figura 11.

3.3.4. Resumen de las ganancias de calor por la cubierta, paredes y portón

Para realizar los cálculos para la ganancia de calor solo está faltando las áreas efectivas, entonces se presenta el cuadro resumen de las áreas de los sistemas analizados en la siguiente tabla:

Tabla 7

Resumen de áreas de los cuerpos analizados

Objeto	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Área (ft ²)
Pared 1	24.50	5.22	127.89	1376.60
Pared 2	37.95	5.22	198.10	2132.32
Portón	4.87	5.22	25.42	273.63
Cubierta total	41.40	31.00	1283.40	13814.40

Nota. Las dimensiones de largo y alto se obtienen directamente de la medición en la nave industrial.

Luego, se reemplaza todos los datos resumidos de la tabla 6 y los datos de las áreas de la tabla 7 en la ecuación (1) para obtener la ganancia de calor a diferentes horarios, pero solo se toma en cuenta la hora en donde la ganancia de calor es mayor, y para ello mostramos el resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8

Ganancia de calor total por la cubierta, paredes y portón

Objeto	Área (ft ²)	U (Btu/h*ft ² *°F)	Diferencia equivalente de temperatura Δt_{eq} (°F)					Ganancia de calor por hora Q (Btu/h)				
			2:00 p. m.	3:00 p. m.	4:00 p. m.	5:00 p. m.	6:00 p. m.	2:00 p. m.	3:00 p. m.	4:00 p. m.	5:00 p. m.	6:00 p. m.
Pared 1 al Noroeste	1376.60	0.54	7.48	9.48	11.48	18.40	25.32	5592.66	7087.96	8583.26	13757.95	18932.63
Pared 2 al Suroeste	2132.32	0.54	12.24	24.64	32.88	35.96	36.96	14175.09	28535.47	38078.18	41645.11	42803.21
Portón metálico al Noroeste	273.63	1.17	7.48	9.48	11.48	18.40	25.32	2394.02	3034.10	3674.19	5889.28	8104.38
Cubierta metálica	13814.40	0.64	31.31	37.68	42.97	45.19	45.26	276847.74	333120.39	379906.74	399524.38	400169.45
Total de calor ganado en cada hora:								299009.51	371777.92	430242.37	460816.72	470009.66

Nota. La tasa de crecimiento de Ganancia de calor disminuye cuando el tiempo aumenta.

Finalmente, de la Tabla 8 se selecciona la ganancia de calor acumulado a las 6:00 p.m el cual es 470009.66 Btu/h, porque es la cantidad mayor en comparación con los otros horarios.

3.3.5. Ganancia de calor debido al personal operativo

El cuerpo humano mantiene un rango de temperatura constante entre 36.5 °C y 37.5 °C debido al proceso de termorregulación, el cual permite conservar el calor cuando hace frío y expulsarlo cuando es necesario para evitar el sobrecalentamiento. La forma en que expulsa calor es mediante la vasodilatación, sudoración y vibración, con los mecanismos de radiación y evaporización principalmente y en menores proporciones por conducción y convección, en ese sentido el calor sensible y latente por persona se hace presente mediante

la siguiente ecuación:

$$Q_{Sensible} = Factor_{C.Sensible} \cdot personas \quad (4)$$

$$Q_{Latente} = Factor_{C.Latente} \cdot personas \quad (5)$$

$$Q_{Total\ personas} = Q_{Sensible} + Q_{Latente} \quad (6)$$

Para hallar los valores de los factores de calor sensible y latente, acudiremos a la tabla A7 del Anexo A, el cual está estructurado con las condiciones para uno hombre adulto de 68 kg en diferentes temperaturas de ambiente y distintos lugares de trabajo o estancia.

Dentro de la nave industrial trabajan 13 varones con actividades ligeras y en algunos casos están sentados, así mismo considerando la temperatura de diseño 27 °C (80.6 °F), utilizando las ecuaciones (4), (5) y (6) se resumen los valores en la siguiente tabla:

Tabla 9

Factores y ganancias de calor por el personal operativo dentro de la nave industrial

Tipo	Factor de calor (Btu/h) por persona	Número de personas	Calor total (Btu/h)
Calor sensible (Btu/h)	220	13	2860
Calor latente (Btu/h)	530	13	6890
Ganancia total			9750

Nota. Para efectos de los cálculos, se considera pesos promedio de 68 kg para cada persona.

De la Tabla 9, se obtiene que la ganancia de calor es de 9750 Btu/h por el total de personas al interior de la nave industrial.

3.3.6. Ganancia de calor por la iluminación

Los equipos de iluminación, tales como los fluorescentes, luminarias Split y otros modelos generan calor al ambiente mediante la radiación que se almacenará en posteriormente en los objetos, también por conducción a los objetos en contacto y por convección en la brisa de aire. Entonces, toda la potencia consumida por la luminaria se transformará en calor al cabo de un tiempo prolongado, en consecuencia, para calcular la ganancia de calor por luminarias se va a considerar la sumatoria de toda la potencia instalada de la iluminación de toda la nave industrial y se usará la equivalencia de $1\text{ W} = 3.41\text{ Btu/h}$. Luego tenemos la siguiente tabla resumen:

Tabla 10

Resumen de la potencia por iluminación en toda la nave industrial

Tipo	Potencia (W)	Cantidad	Calor total (Btu/h)
Luminaria circular led modelo LDV HBP 200W - 220VAC 60HZ LEDVANCE	200	10	6824
Luminaria hermetica Led WT118C 36/865 - 2x36w	36	6	736.992
Ganancia total			7560.992

Nota. Para efectos de los cálculos, se considera que todas las luminarias son nuevas. De la Tabla 10, se obtiene que la ganancia de calor es de 7560.99 Btu/h por el total de luminarias al interior de la nave industrial.

3.3.7. Ganancia de calor por los motores eléctricos

Los motores eléctricos son fuente de calor sensible y para calcular la ganancia de calor se utilizará la tabla A8 del Anexo A, donde se resume que se va a considerar toda la potencia instalada de los motores eléctricos y según su ubicación con el flujo de aire, se le

va a dividir por la eficiencia indicada en la tabla mencionada anteriormente. Todas las máquinas se pueden visualizar en las imágenes del Anexo B. Finalmente tenemos la siguiente tabla resumen:

Tabla 11

Resumen de la potencia de los motores eléctricos en toda la nave industrial

Maquina	Tipo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (W)	Ganancia total (Btu/h)
Extrusora de lamina 1	Motor Principal	55000	1	55000	187660
Extrusora de lamina 1	Motor Rodillos formadores	4000	1	4000	13648
Extrusora de lamina 1	Motor Bobinador	750	1	750	2559
Extrusora de lamina 2	Motor Principal	55000	1	55000	187660
Extrusora de lamina 2	Motor Rodillos formadores	4000	1	4000	13648
Extrusora de lamina 2	Motor Bobinador	750	1	750	2559
Triturador de refile	Motor Principal	22000	1	22000	75064
Termoformador de bandejas 1	Motor Transporte	11000	1	11000	37532
Termoformador de bandejas 1	Motor Formación y troquel	7000	4	28000	95536
Termoformador de bandejas 1	Motor Refile	370	2	740	2525
Termoformador de bandejas 2	Motor Transporte	11000	1	11000	37532
Termoformador de bandejas 2	Motor Formación y troquel	7000	4	28000	95536
Termoformador de bandejas 2	Motor Refile	370	2	740	2525
Chiller 1	Motor bomba	2500	1	2500	8530
Chiller 1	Motor-compresor	10000	1	10000	34120
Chiller 2	Motor bomba	2500	1	2500	8530
Chiller 2	Motor-compresor	10000	1	10000	34120
Chiller 3	Motor	2500	1	2500	8530
Chiller 3	Motor-compresor	10000	1	10000	34120
Total de ganancia de calor debido a los motores de las máquinas					881934

Nota. Se considera toda la capacidad instalada, a pesar de que el uso del Chiller 3 es intermitente.

De la Tabla 11, se obtiene que la ganancia de calor total es de 881934 Btu/h, por el total de motores instalados.

3.3.8. Ganancia de calor por las resistencias térmicas

Por la particularidad de del sector industrial de extrusión de plásticos, se va a considerar la potencia de las resistencias térmicas instaladas en todas las máquinas debido a que contribuyen a la generación de calor hacia el interior de la nave industrial, para poder hallar la ganancia de calor total se presenta la siguiente tabla en donde se resume todas las resistencias existentes:

Tabla 12

Resumen de la potencia de las resistencias térmicas de cada máquina

Maquina	Tipo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (W)	Ganacia total (Btu/h)
Extrusora de lamina 1	Resistencia tipo banda 200 x 145 mm del cañon	2500	5	12500	42650
Extrusora de lamina 1	Resistencia tipo banda del 108 x 60 mm cabezal	800	3	2400	8189
Extrusora de lamina 1	Resistencia tipo cartucho 16 x 160 mm del cabezal	500	4	2000	6824
Extrusora de lamina 2	Resistencia tipo banda 200 x 145 mm del cañon	2500	5	12500	42650
Extrusora de lamina 2	Resistencia tipo banda del 108 x 60 mm cabezal	800	3	2400	8189
Extrusora de lamina 2	Resistencia tipo cartucho 16 x 160 mm del cabezal	500	4	2000	6824
Termoformador de bandejas 1	Resistencia cerámico tipo infrarojo de horno	400	70	28000	95536
Termoformador de bandejas 2	Resistencia cerámico tipo infrarojo de horno	400	70	28000	95536
Total de ganancia de calor debido a los motores de las máquinas					306398

Nota. Se considera que todas las resistencias están trabajando de manera continua.

De la Tabla 12, se obtiene que la ganancia de calor total es de 306398 Btu/h, por el total de resistencias instaladas.

3.3.9. Resumen de todas las ganancias de calor en la nave industrial

En la Tabla 13 se resumen todas las ganancias de calor debido a la radiación en la infraestructura, las personas, las luminarias y las máquinas dentro de la nave industrial, que afectan directamente a la temperatura del ambiente interior, y la suma total de todas las ganancias es el dato más importante para los cálculos posteriores, para constatar los resultados se presenta la siguiente tabla:

Tabla 13

Resumen de ganancias de calor

Concepto	Ganacia de calor	Unidades
Paredes, techo y portón	470009.66	Btu/h
Personas operativas	9750	Btu/h
Luminarias	7560.992	Btu/h
Motores de las máquinas	881933.76	Btu/h
Resistencias termicas de las máquinas	306397.6	Btu/h
Total	1675652.02	Btu/h

Nota. Se considera como ganancia de calor desde el punto de vista de balance energético.

De la Tabla 13 podemos evidenciar que el total de calor ganado por el ambiente interno de la nave industrial es 1,675,652.02 Btu/h, y en adelante esta cantidad se identificará como carga térmica para realizar el cálculo de la capacidad necesaria de los equipos de ventilación para remover todo el calor.

3.4. Cálculo del caudal de ventilación necesario

Para realizar el cálculo del caudal necesario de aire ambiental, proveniente del exterior de la nave industrial, utilizaremos la carga térmica obtenida en la tabla anterior, pero en las unidades equivalentes de energía, realizando la conversión tenemos el valor de 422,255.53 kcal/h, luego tenemos el dato de la temperatura exterior crítica de 32.9 °C y la temperatura interior de diseño es 27 °C. Todos estos datos reemplazamos en la formula (7):

$$\text{Carga térmica total} / 0.288 \times (\text{Text} - \text{Tint}) = \text{Caudal total} \quad (7)$$

Donde:

Carga térmica total: Total de calor a remover en (kcal/h).

Text: Temperatura exterior en °C, se considera el día más crítico.

Tint: Temperatura exterior de diseño en °C

Caudal total: El caudal total necesario para remover toda la carga térmica en m³/h

Finalmente, como resultado tenemos el caudal igual a 248,502.78 m³/h, entonces se observa que con una ventilación natural no va a lograr el caudal necesario, en consecuencia, la ventilación será mecánica de tipo general en donde la suma de los caudales de todos los ventiladores que se van a instalar debe ser igual o mayor al calculado para lograr mantener la temperatura de diseño al interior de la nave industrial.

Por otro lado, dividiendo el caudal total entre el volumen total de la nave industrial, siendo esta última de 5818.17 m³, obtenemos la renovación por hora igual a 42.71, el cual cumple con el rango aceptable que indica la norma técnica peruana EM.030, según la tabla del Anexo C1, en donde se especifica que la renovación mínima para talleres en general de 3 a 8 renovaciones por hora. Se escoge el factor indicado porque la

nave industrial es de uso para maquinas extrusoras y almacén de producto terminado, por lo que no se emite gases tóxicos y no existen condiciones extremas que atenten contra la vida o la salud.

Por otro lado, para el contexto específico de la nave industrial estudiada, la norma EM.030 indica que se requiere un mínimo de 20 renovaciones por hora para cuarto de máquinas.

De todas las condiciones expuestas, las 42.71 renovaciones obtenidas mediante los cálculos cumplen con las exigencias de la norma técnica EM.030.

3.5. Cálculo de los equipos ventiladores para la nave industrial

Se considera utilizar 6 ventiladores industriales modelo HGT-1250 con potencia 2 HP cada uno, en la marca SOLER & PALAU. Luego obtenemos el caudal del ventilador del modelo mencionado en la tabla de características del Anexo C2, cuyo valor es de 38,900.00 m³/h, entonces en los 6 ventiladores llegan a un caudal total de 233,400.00 m³/h, el resultado es menor en 6.08% al valor calculado para toda la nave industrial, sin embargo, se va a considerar como selección final debido a que, por temas de presupuesto limitado y contrato con el proveedor ya establecido con anterioridad, no se podrá comprar otros ventiladores de mayor caudal.

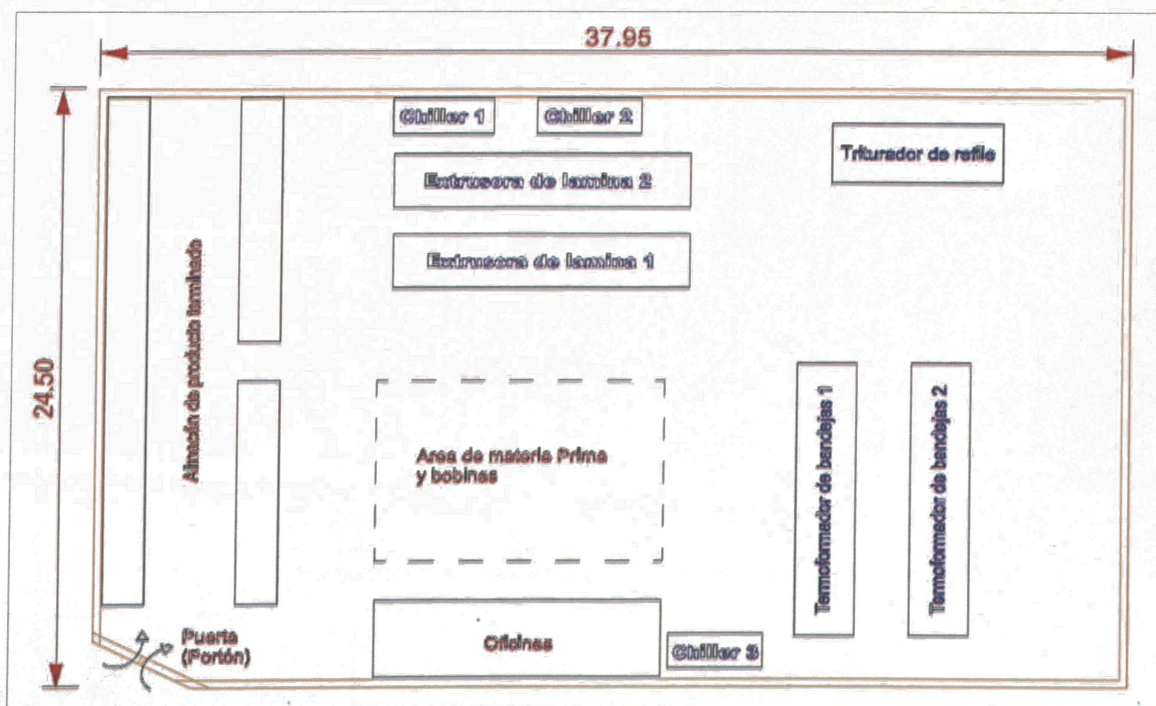
Es importante mencionar que en la nave industrial ya existe 1 ventilador HGT-1250 que fue instalado al momento de la fabricación del techo y por ello se considera comprar 5 ventiladores más del mismo modelo.

3.6. Diseño de la distribución para ventiladores y sobre techo para la salida de aire

Al interior de la nave industrial se distribuyen las máquinas de producción tales como: Extrusora de lámina 1, extrusora de lámina 2, termo formador de bandejas 1 y termo formador de bandeja 2, y también los equipos de apoyo al proceso productivo, que generan calor, tales como el Chiller 1, Chiller 2, Chiller 3 y el triturador de refilo. La distribución de las máquinas se acentúa en el lado derecho, según se muestra en la figura 14, por lo que el calor se concentra primero en esta zona y luego se distribuye a todo el interior de la planta industrial. Para poder observar con más detalle las características del interior de la nave industrial se muestra la distribución de máquinas y las áreas correspondientes al proceso productivo en la siguiente figura:

Figura 15

Vista de planta de la distribución de máquinas y áreas comunes.

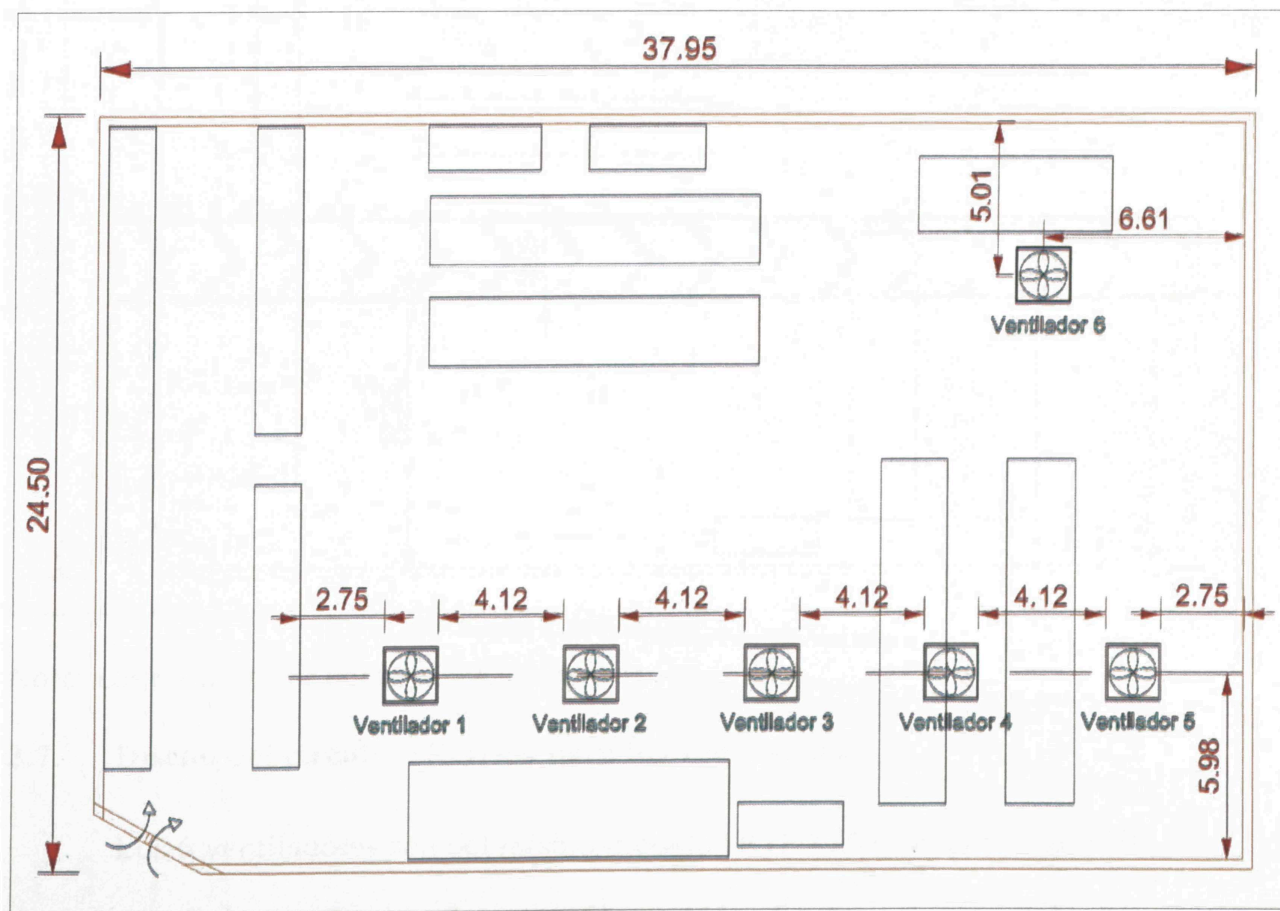


Nota. Las medidas se encuentran en metros.

Debido a que el aire caliente se concentra en mayor cantidad por el margen derecho de la planta industrial y a las limitaciones en los espacios en la zona del almacén, se considera la distribución de los ventiladores desde que termina el almacén de producto terminado hasta la pared en el lateral derecho, esta distribución es de manera homogénea entre los cinco ventiladores, para ello se debe tomar en cuenta las dimensiones de cada ventilador según el Anexo C3. El sexto ventilador ya tiene una ubicación anterior a la nueva implementación, y por cuestiones de presupuesto y espacios reducidos, no se reubica y mantiene su estructura inicial. Se muestra el detalle de la distribución de los ventiladores en la siguiente figura:

Figura 16

Vista de planta de la distribución de ventiladores para inyección de aire fresco.

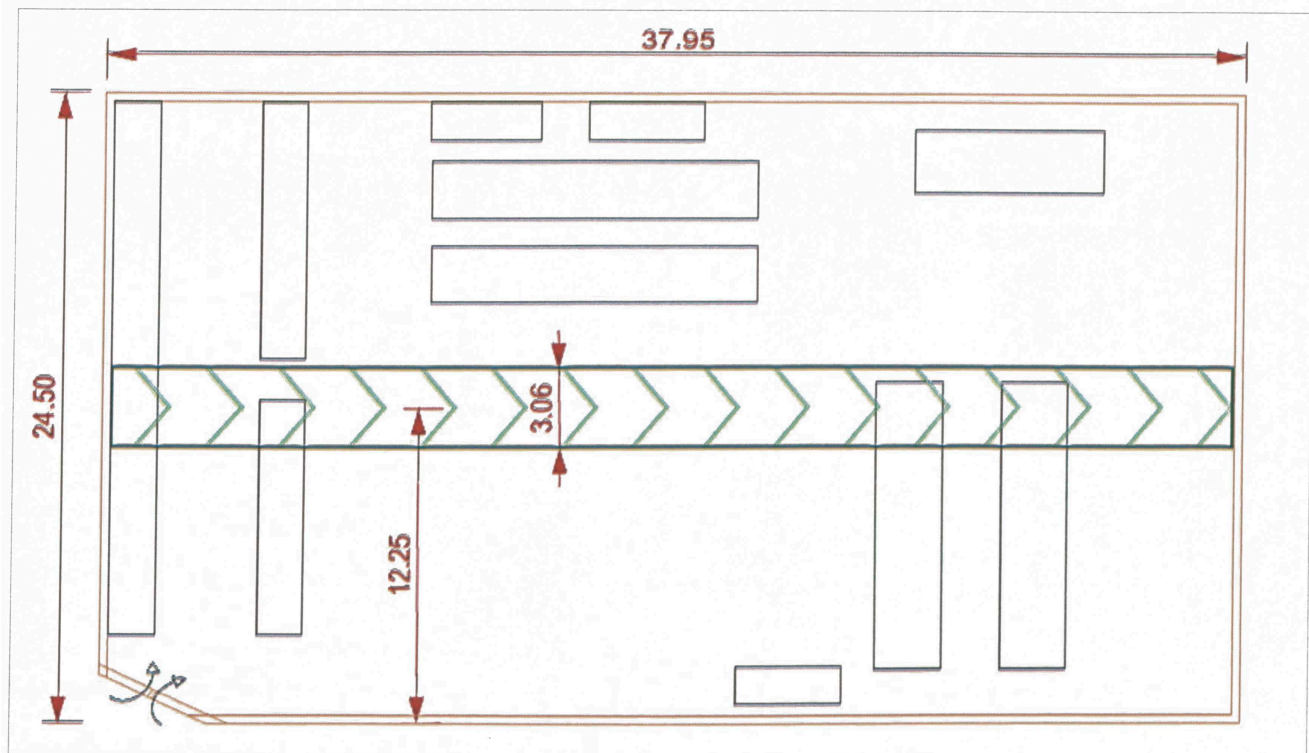


Nota. Las medidas se encuentran en metros

Con los ventiladores se genera un flujo de aire frío dirigido de forma diagonal hacia el suelo, así es como el volumen de aire fresco empuja el aire caliente hacia la parte superior de la nave industrial, por lo que se va a necesitar una estructura de ventilación natural al exterior, en consecuencia, se diseña e instala un sobre techo recubierto lateralmente con maya metálica para que el aire caliente pueda salir y al mismo tiempo limite el ingreso de aves y roedores al interior de la nave industrial. La ubicación y medidas generales del sobre techo se especifica en la siguiente figura:

Figura 17

Vista de planta del sobre techo para salida de aire caliente.



Nota. Las medidas se encuentran en metros

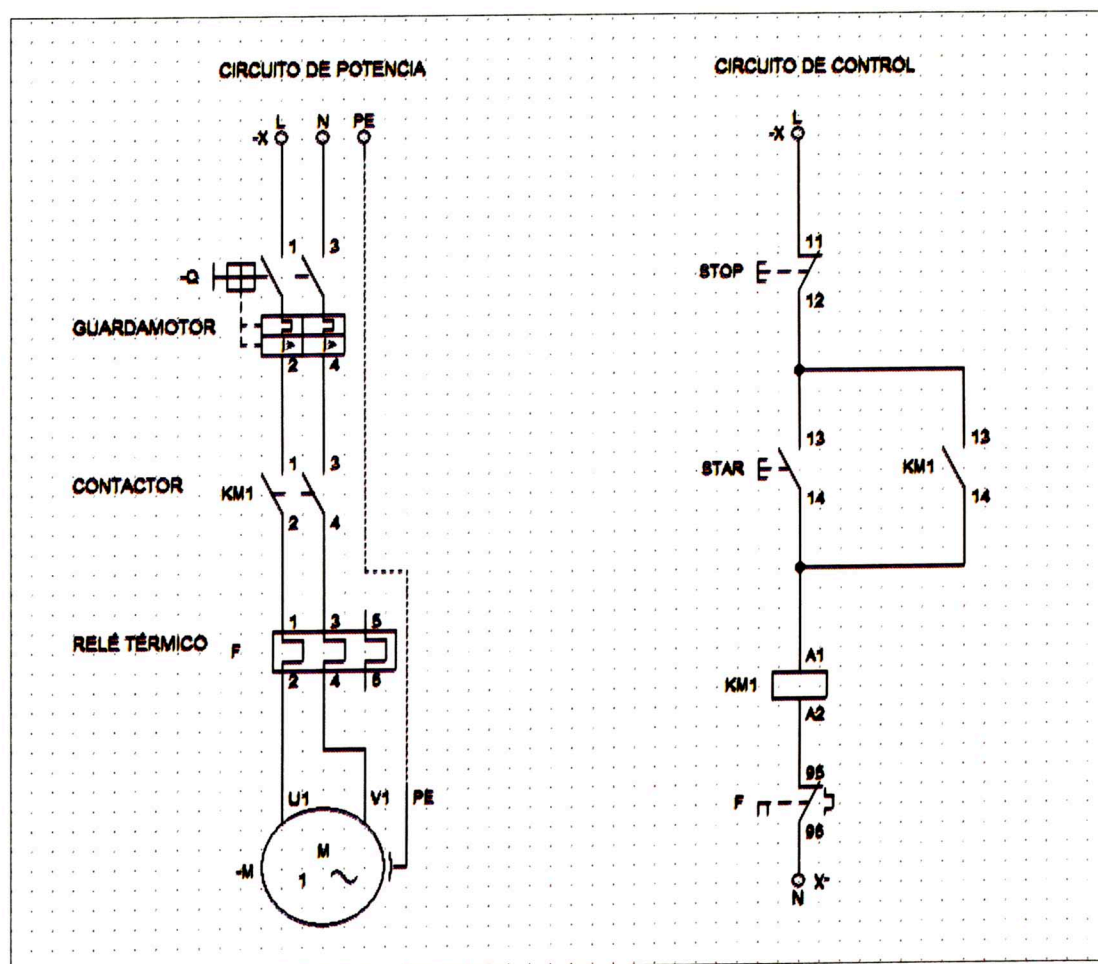
3.7. Diseño del circuito eléctrico para los ventiladores

Los 6 ventiladores son del mismo modelo HGT-1250 con potencia 2 HP, de motor monofásico, en base a ello se establece el circuito de potencia con los elementos eléctricos de protección y de control como se observa en la figura 18. El diseño se trata

de un arranque directo con controles de inicio y parada según la siguiente figura:

Figura 18

Circuito de potencia y de control para cada ventilador.



Nota. Cada ventilador mantiene el mismo diseño de circuito de potencia y control

Para el cálculo de los conductores, el interruptor termomagnético general y un interruptor para cada ventilador, se diseñan a partir del cálculo de corriente consumida cuyo valor es igual a 10.6 A para un motor monofásico de 2HP, factor de potencia 0.8 y un factor de seguridad del 25%. Con los datos mencionados y los repuestos existentes en el mercado local, se selecciona los conductores e interruptores termomagnéticos inmediatos superiores a los calculados según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14

Selección del interruptor termomagnético y cables del circuito para los ventiladores.

Circuito	Interruptor termomagnético	Cable de potencia	Cable a Tierra
General (6 motores)	IT de 2x80 A, Tipo C	Cable THW90-4AWG	Cable CPT 8AWG
Individual (por cada motor)	IT de 2x20 A, Tipo C	Cable THW90-12AWG	Cable CPT 12AWG

Nota. El interruptor termomagnético tipo C es el más común para ventiladores

CAPÍTULO IV

Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión Resultados

4.1. Resultados

Luego de haber instalado los ventiladores seleccionados, se procedió medir las temperaturas durante 5 días durante el mes de Julio, se muestra las imágenes de la medición en el Anexo E, en horario de la tarde entre las 2:00 p.m. y las 6:00 p.m. según se muestra en la tabla 14, en donde se resumen las temperaturas en 3 sectores diferentes A, B y C, dentro de la nave industrial, en una primera etapa las mediciones se realizaron con los ventiladores apagados y en una segunda etapa se prendieron los ventiladores, habiendo un espacio de 30 min entre cada etapa para que se homogenice el aire del ambiente.

El instrumento de medición utilizado fue un Termohigrómetro digital modelo HTC-2, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo D1, el cual puede medir 2 temperaturas a la vez, una que cambia rápidamente denominado temperatura exterior, esto sucede porque bulbo es externo a través de un cable, y la otra temperatura es de cambio lento denominado temperatura interior. En términos prácticos, ambas temperaturas se igualan al cabo de un tiempo para las mismas condiciones de la posición, área y ambiente.

En la siguiente tabla se puede observar las diversas temperaturas para las áreas A, B y C:

Tabla 15

Mediciones de temperatura según día, hora y zona de medición.

Día	Hora	Zona	Ventiladores	Temperatura °C
7/07/2025	4:35 p. m.	A	Apagado	26.8
7/07/2025	4:39 p. m.	B	Apagado	27.3
7/07/2025	4:41 p. m.	C	Apagado	27.3
7/07/2025	5:57 p. m.	A	Encendido	24.1
7/07/2025	5:38 p. m.	B	Encendido	25.2
7/07/2025	5:31 p. m.	C	Encendido	24.4
8/07/2025	3:08 p. m.	A	Encendido	22.4
8/07/2025	3:03 p. m.	B	Encendido	22.9
8/07/2025	2:52 p. m.	C	Encendido	21.6
8/07/2025	3:40 p. m.	A	Apagado	25.4
8/07/2025	3:45 p. m.	B	Apagado	24.9
8/07/2025	3:50 p. m.	C	Apagado	24.1
9/07/2025	3:30 p. m.	A	Apagado	26.8
9/07/2025	3:38 p. m.	B	Apagado	27.1
9/07/2025	3:43 p. m.	C	Apagado	27.2
9/07/2025	4:01 p. m.	A	Encendido	23.5
9/07/2025	4:35 p. m.	B	Encendido	24.3
9/07/2025	4:38 p. m.	C	Encendido	24.0
10/07/2025	2:40 p. m.	A	Apagado	26.5
10/07/2025	2:45 p. m.	B	Apagado	26.1
10/07/2025	2:50 p. m.	C	Apagado	27.1
10/07/2025	3:15 p. m.	A	Encendido	23.3
10/07/2025	3:28 p. m.	B	Encendido	23.9
10/07/2025	3:35 p. m.	C	Encendido	24.2
11/07/2025	3:30 p. m.	A	Apagado	26.9
11/07/2025	3:38 p. m.	B	Apagado	26.8
11/07/2025	3:43 p. m.	C	Apagado	27.2
11/07/2025	4:01 p. m.	A	Encendido	23.4
11/07/2025	4:35 p. m.	B	Encendido	24.2
11/07/2025	4:38 p. m.	C	Encendido	23.9

De la tabla 15, se evidencia que el promedio de temperatura con los ventiladores apagados, para todos los días de medición, en la zona A es de 26.5 °C, para la zona B es de 26.4 °C y para la zona C es de 26.6 °C y el pico de temperatura es de 27.3 °C

perteneciente a la zona B. Así mismo el promedio de temperatura con los ventiladores encendidos, para todos los días de medición, en la zona A es de 23.3 °C, para la zona B es de 24.1 °C y para la zona C es de 23.6 °C y el pico de temperatura es de 25.2 °C perteneciente a la zona B. Es así que tenemos el promedio total de las temperaturas por zona con los ventiladores apagados y encendidos considerando todos los días de medición, estos cálculos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16

Resumen temperaturas promedio por zonas

Zona	Ventiladores	Temperatura Promedio °C
A	Encendido	23.3
A	Apagado	26.5
B	Encendido	24.1
B	Apagado	26.4
C	Encendido	23.6
C	Apagado	26.6

Finalmente, resultado promedio de la temperatura con los ventiladores apagados resulta 26.5 °C, y en el caso contrario, con todos los ventiladores prendidos tenemos una temperatura promedio de 23.7 °C. Es decir, que tenemos una reducción de temperatura de 2.8 °C con el uso continuo de los 6 ventiladores instalados.

4.2. Contrastación de hipótesis

Se comprueba que la temperatura disminuye en 2.8 °C en promedio cuando se enciende los 6 ventiladores dentro de la nave industrial durante la tarde de 2 a 6 p.m., horario en el que se tomó de referencia para realizar los cálculos de caudal de renovación de aire. Esta reducción de temperatura ayuda a reducir los problemas en las máquinas extrusoras y afecta positivamente en la sensación térmica para los operadores de las máquinas extrusoras.

Entonces, se comprueba la hipótesis general planteada en el capítulo 1.6 de la presente investigación, concluyendo que sí hay evidencia de la reducción de la temperatura al interior de la nave industrial debido al diseño y posterior instalación de los ventiladores seleccionados.

También se evidencia que el cálculo realizado para hallar el caudal necesario para renovar el aire caliente al interior de la nave influyó directamente en la selección de los equipos ventiladores, los cuales tienen un efecto positivo en la temperatura al interior de la nave industrial.

4.3. Discusión de resultados

En la presente sección se discuten los resultados obtenidos en el capítulo 4.1 a partir de la implementación de los 6 ventiladores en la nave industrial, en donde se realiza la mediciones de temperatura en el ambiente interior obteniendo como resultado un promedio de 26.5 °C y pico de 27.3 °C con los ventiladores apagados, y en el caso opuesto se obtuvo un promedio de 23.7 °C y un pico de 25.2 °C con los ventiladores prendidos, es decir que se redujo la temperatura y se mejoró el ambiente interno de la nave industrial debido a que el aire caliente es empujado y renovado por el flujo de aire fresco proveniente del exterior.

En ese sentido, la investigación coincide con Vasquez (2020), quién indica que a través del método de eliminación de cargas terminas, con la ventilación forzada, se remueve el calor generado y mantiene una temperatura adecuada al interior de un recinto. Siendo la presente investigación en condiciones diferentes, se obtuvo resultados cualitativamente similares en cuanto a la reducción de la temperatura y la mejora del ambiente interior de una zona en específico.

Así mismo, los resultados obtenidos están alienado con Chilca (2021), quién indica que la aplicación de la ventilación mecánica mixta mantiene las áreas confortables para las personas al interior de los estacionamientos. Para nuestro caso, se explica porque al reducir la temperatura y renovar el aire al interior de la nave industrial se genera un ambiente amigable y sostenible para los operadores al interior de la nave industrial.

También, se coincide con lo mencionado por Paucar (2022), quién indica que al utilizar el RNE para el diseño e implementación de los ventiladores JET FAN se logra renovar el volumen total de aire, esto se explica porque durante el proceso de selección de los ventiladores se incluyó el cumplimiento de las renovaciones de aire que establece el RNE para las industrias en específico, asegurando así un ambiente con aire fresco de manera constante.

Similarmente, los resultados obtenidos de la presente investigación concuerdan con Lituma (2024), quién diseñó e implementó la red de ductos y ventiladores para asegurar la ventilación homogénea dentro de un recinto, logrando que haya una mejor renovación de aire y disminuyendo la temperatura al interior de la nave industrial. Teniendo en cuenta que la presente investigación se enfocó en los cálculos para los ventiladores y su aplicación directa en todo el ambiente interno de la nave, sin utilizar ductos de distribución, se logró obtener resultados satisfactorios que indican la correcta renovación de aire y disminución de la temperatura en promedio al interior de toda la nave industrial.

Por último, es necesario exponer que las limitaciones para obtener los resultados fueron principalmente por la disponibilidad del área para medir las temperaturas, ya que no contaba con acceso a todos los rincones de la nave industrial por ser áreas productivas y/o ocupadas por el proceso productivo, en consecuencia, se tomó las medidas de

temperatura en la sección media a lo largo de toda la nave industrial. Así también cabe resaltar que las mediciones fueron realizadas en el invierno, en donde los resultados varían por ser una estación no crítica y no contemplada para los cálculos de los ventiladores.

CONCLUSIONES

El diseño del sistema de ventilación resultó en la implementación de 6 ventiladores modelo HGT-1250, con un caudal de 38,900.00 m³/h de aire por cada ventilador, los cuales provocan la reducción de la temperatura en 2.8°C en promedio al interior de la nave industrial, como consecuencia de la renovación de todo el volumen de aire caliente.

El diseño de la distribución y posicionamiento de los 6 ventiladores provocó una temperatura 23.7 °C en promedio, siendo un valor homogéneo, con un margen de error de 0.4 °C, en toda el área de máquinas al interior de la nave industrial.

La ganancia de calor al interior de la nave industrial es de 1,675,652.02 Btu/h, luego con el valor obtenido se calcula el caudal de 248,502.78 m³/h de aire necesario para reducir la temperatura dentro de la nave industrial, en consecuencia, se puede seleccionar los 6 ventiladores industriales a partir de modelos comerciales que cumplan con el requisito de caudal ya mencionado.

RECOMENDACIONES

Se demostró la reducción de temperatura al interior de la nave industrial en el mes de julio, pero se recomienda volver a medir las temperaturas dentro de la nave para febrero, ya que es el mes crítico de altas temperaturas.

Para un mejor muestreo del gradiente de temperaturas, se recomienda tomar más muestras en toda el área de la nave industrial y con ello revalidar la correcta distribución de los ventiladores.

REFERENCIA

Carrier Corporation. Carrier Air Conditioning Company. (1965). *Handbook of air conditioning system design* (Vol. 1). McGraw-Hill Companies.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Vol. 53). New York, NY, USA: McGraw-Hill Interamericana.

Chilca (2021). *Diseño de un sistema de ventilación mecánica para la extracción de gases de los estacionamientos subterráneos de un edificio multifamiliar de cinco sótanos y un semisótano*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Echeverri C. (2020). *Ventilación industrial 2a Edición*. Ediciones de la U.

Goodfellow, H. D., & Wang, Y. (Eds.). (2021). *Industrial ventilation design guidebook: volume 2: engineering design and applications*. Academic press.

Governa, R., Hugues, R., & Riveira, V. (1988). *Ventilación industrial, manual de recomendaciones prácticas*. Michigan, EE.UU: Librería de la generalitat.

Hernández, F., Fernández, C. & Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. Editorial Mc. Graw Hill Interamericana Editores, SA.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Educación.

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer*. (Vol. 6, p. 116). New York: Wiley.

Lituma Bravo, D. E. (2024). *Diseño de sistema de ventilación mecánica para una nave industrial (Bachelor's thesis)*. (Tesis de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Paucar (2022). *Metodología de cálculo del caudal de extracción de monóxido en sótanos de estacionamiento vehicular basado en el reglamento nacional de edificaciones y simulación CFD para mejorar el sistema de ventilación para un gimnasio*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Soler y Palao. (2012). *Manual práctico de ventilación*. Ventilation Group.

Vasquez Tantachuco, V. J. M. (2020). *Diseño de un sistema de ventilación forzada que evite el sobre calentamiento y aporte la renovación de aire del área técnica de una estación de tren de la línea 2 del metro de Lima*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO A:	Propiedades termofísicas de materiales comunes.....	1
ANEXO B:	Panel Fotográfico	7
ANEXO C	Renovaciones en locales especiales.....	15
ANEXO D	Ficha técnica del termo-higrómetro HTC-2.....	18
ANEXO E	Mediciones de Temperatura.....	19

ANEXO A:

Propiedades termofísicas de materiales comunes

Structural Building Materials

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m · K)	Specific Heat, c_p (J/kg · K)
Building Boards			
Asbestos-cement board	1920	0.58	—
Gypsum or plaster board	800	0.17	—
Plywood	545	0.12	1215
Sheathing, regular density	290	0.055	1300
Acoustic tile	290	0.058	1340
Hardboard, siding	640	0.094	1170
Hardboard, high density	1010	0.15	1380
Particle board, low density	590	0.078	1300
Particle board, high density	1000	0.170	1300
Woods			
Hardwoods (oak, maple)	720	0.16	1255
Softwoods (fir, pine)	510	0.12	1380
Masonry Materials			
Cement mortar	1860	0.72	780
Brick, common	1920	0.72	835
Brick, face	2083	1.3	—
Clay tile, hollow			
1 cell deep, 10 cm thick	—	0.52	—
3 cells deep, 30 cm thick	—	0.69	—
Concrete block, 3 oval cores			
Sand/gravel, 20 cm thick	—	1.0	—
Cinder aggregate, 20 cm thick	—	0.67	—
Concrete block, rectangular core			
2 cores, 20 cm thick, 16 kg	—	1.1	—
Same with filled cores	—	0.60	—
Plastering Materials			
Cement plaster, sand aggregate	1860	0.72	—
Gypsum plaster, sand aggregate	1680	0.22	1085
Gypsum plaster, vermiculite aggregate	720	0.25	—

Nota: Fundamental of Heat and Mass transfer – Incropera

Coeficiente de transferencia de calor para la cubierta

PITCHED ROOFS		CEILING										
EXTERIOR SURFACE	SHEATHING	None	3/4" Wood Panel (2)	3/4" Gypsum Board (Plaster Board) (2)	Metal Lath Plastered		3/4" Gypsum or Wood Lath Plastered		Insulating Board Plain or 1/2" Sand Agg Plastered		Acoustical Tile on Furring or 3/4" Gypsum	
					3/4" Sand Plaster (7)	3/4" Lt Wt Plaster (3)	1/2" Sand Plaster (5)	1/2" Lt Wt Plaster (2)	1/2" Board (2)	1" Board (4)	1/2" Tile (2)	3/4" Tile (3)
Asphalt Shingles, (2)	Bldg paper on 3/4" plywood (2)	.51	.27	.30	.32	.29	.29	.28	.22	.17	.23	.21
	Bldg paper on 3/4" wood sheathing (3)	.30	.23	.26	.27	.25	.25	.24	.20	.16	.21	.19
Asbestos-Cement Shingles (3) or Asphalt Roll Roofing (1)	Bldg paper on 3/4" plywood (2)	.59	.28	.34	.37	.33	.33	.31	.25	.18	.25	.22
	Bldg paper on 3/4" wood sheathing (3)	.45	.25	.29	.31	.28	.28	.27	.22	.17	.22	.20
Slates (8) Tile (10) or Sheet Metal (1)	Bldg paper on 3/4" plywood (2)	.64	.29	.36	.38	.34	.35	.47	.26	.19	.26	.23
	Bldg paper on 3/4" wood sheathing (3)	.48	.25	.29	.31	.28	.28	.27	.22	.17	.23	.20
Wood Shingles (2)	Bldg paper on 1" x 4" strips (1)	.53	.26	.31	.33	.30	.30	.28	.23	.17	.24	.21
	Bldg paper on 3/4" plywood (2)	.41	.23	.27	.29	.26	.27	.25	.21	.16	.21	.19
	Bldg paper on 3/4" wood sheathing (3)	.34	.21	.24	.25	.23	.23	.22	.19	.15	.19	.17

1958 ASHAE Guide

1958 ASHAE Guide

Diferencia equivalente de temperatura a 40° latitud norte para el mes de Julio, para paredes

EXPOSURE	WEIGHT OF WALL† (lb/sq ft)	SUN TIME																												
		AM												PM												AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
Northeast	20	5	15	22	23	24	19	14	13	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-3	-4	-2					
	60	-1	-2	-2	5	24	22	20	15	10	11	12	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	-1					
	100	4	3	4	4	4	10	16	15	14	12	10	11	12	12	12	11	10	9	8	7	6	6	5	3					
	140	5	5	6	6	6	6	6	10	14	16	14	12	10	10	10	10	10	10	10	9	8	7	7	7					
East	20	1	17	30	33	36	35	32	20	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-2	-3	-3					
	60	-1	-1	0	21	30	31	31	19	14	13	12	13	14	13	12	11	10	8	5	4	3	1	1	0					
	100	5	5	6	8	14	20	24	25	24	20	18	16	14	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	4					
	140	11	10	10	9	8	9	10	15	18	19	18	17	16	14	12	13	14	14	14	13	13	12	12	12					
Southeast	20	10	6	13	19	26	27	28	26	24	19	16	15	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	1	1	0	13	20	24	28	26	25	21	18	15	14	13	12	11	10	8	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	11	16	17	18	19	18	16	14	13	12	11	10	10	9	9	8	8	7	9					
	140	9	8	8	8	8	7	6	11	14	15	16	18	16	15	14	13	12	12	12	11	11	10	10	9					
South	20	-1	-2	-4	1	4	14	22	27	30	28	26	20	16	12	10	7	6	3	2	1	1	0	0	-1					
	60	-1	-3	-4	-3	-2	7	12	20	24	25	26	23	20	15	12	10	8	6	4	2	1	1	0	-1					
	100	4	4	2	2	2	3	4	8	12	15	16	18	18	15	14	11	10	9	8	7	6	6	5	3					
	140	7	6	6	5	4	4	4	4	7	10	13	14	15	16	16	14	12	10	10	9	9	8	7	7					
Southwest	20	-2	-4	-4	-2	0	4	6	19	26	34	40	41	42	30	24	12	6	4	2	1	1	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	1	2	8	12	24	32	35	36	35	34	20	10	7	6	5	4	4	3	3					
	100	7	5	6	5	4	5	6	7	8	12	14	19	22	23	24	23	22	15	10	10	9	9	8	7					
	140	8	8	8	8	8	7	6	6	6	7	8	9	10	15	18	19	20	13	8	8	8	8	8	8					
West	20	-2	-3	-4	-2	0	3	6	14	20	32	40	45	48	34	22	14	8	5	2	1	0	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	2	4	7	10	19	26	34	40	41	36	28	16	10	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	17	20	23	28	27	26	19	14	12	11	10	9	8					
	140	12	11	10	9	8	8	8	9	10	10	10	11	12	14	16	21	22	23	22	20	18	16	15	13					
Northwest	20	-3	-4	-4	-2	0	3	6	10	12	19	24	33	40	37	34	18	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-2	-3	-4	-3	-2	0	2	6	8	10	12	21	30	31	32	21	12	8	6	4	3	1	0	-1					
	100	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	9	12	17	20	21	22	14	8	7	7	6	6	5					
	140	8	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	14	18	19	20	16	13	11	10	9					
North (Shade)	20	-3	-3	-4	-3	-2	1	4	8	10	12	14	13	12	10	8	6	4	2	0	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-3	-3	-4	-3	-2	1	0	3	6	8	10	11	12	12	10	8	6	4	2	1	0	-1	-2	-2					
	100	1	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	5	8	7	6	5	4	3	3	2	2	2	1					
	140	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	4	3	2	2	1					
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
		AM												PM												AM				
		SUN TIME																												

Equation: Heat Gain Thru Walls, Btu/hr = (Area, sq ft) × (equivalent temp diff) × (transmission coefficient U, Tables 21 thru 25)

*All values are for both insulated and uninsulated walls.

†For other conditions, refer to corrections on page 64.

‡Weight per sq ft values for common types of construction are listed in Tables 21 thru 25.

For wall constructions less than 20 lb/sq ft, use listed values of 20 lb/sq ft.

Aportación solar máxima a 40° latitud norte

TABLE 15—SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS (Contd)

40°

Btu/(hr) (sq ft sash area)

40°

40° NORTH LATITUDE		SUN TIME														40° SOUTH LATITUDE	
Time of Year	Exposure	6	7	8	9	10	11	Noon	1	2	3	4	5	6	Exposure	Time of Year	
JUNE 21	North	32	20	12	13	14	14	14	14	14	13	12	20	32	South	DEC 22	
	Northeast	118	133	112	73	30	14	14	14	14	13	12	10	6	Southeast		
	East	126	161	162	142	95	44	14	14	14	13	12	10	6	East		
	Southeast	51	88	109	111	99	71	34	14	14	13	12	10	6	Northeast		
	South	6	10	12	19	35	44	54	44	35	19	12	10	6	North		
	Southwest	6	10	12	13	14	14	34	71	99	111	109	88	51	Northwest		
JULY 23 & MAY 21	West	6	10	12	13	14	14	14	44	95	142	162	161	126	West	JAN 21 & NOV 21	
	Northwest	6	10	12	13	14	14	14	14	30	73	112	133	118	Southwest		
	Horizontal	31	82	134	179	210	232	237	232	210	179	134	82	31	Horizontal		
	North	24	14	12	13	14	14	14	14	14	13	12	14	24	South		
	Northeast	106	127	105	66	26	14	14	14	14	13	12	10	5	Southeast		
	East	118	161	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	East		
AUG 24 & APR 20	Southeast	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Northeast	FEB 20 & OCT 23	
	South	5	10	13	26	44	63	69	63	44	26	13	10	5	North		
	Southwest	5	10	12	13	14	15	42	82	110	125	119	96	54	Northwest		
	West	5	10	12	13	14	14	14	43	98	144	164	161	118	West		
	Northwest	5	10	12	13	14	14	14	14	26	66	105	127	106	Southwest		
	Horizontal	24	73	126	171	203	225	233	225	203	171	126	73	24	Horizontal		
SEPT 22 & MAR 22	North	7	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	South	MAY 21 & JULY 23	
	Northeast	68	102	82	46	16	14	14	14	14	13	11	8	3	Southeast		
	East	84	147	162	145	101	45	14	14	14	13	11	8	3	East		
	Southeast	48	105	138	144	139	107	66	25	14	13	11	8	3	Northeast		
	South	3	8	24	51	89	97	102	97	89	51	24	8	3	North		
	Southwest	3	8	11	13	14	25	66	107	139	144	138	105	48	Northwest		
OCT 23 & FEB 20	West	3	8	11	13	14	14	14	45	101	145	162	147	84	West	APR 20 & AUG 24	
	Northwest	3	8	11	13	14	14	14	14	16	46	82	102	68	Southwest		
	Horizontal	9	47	100	150	185	205	214	205	185	150	100	47	9	Horizontal		
	North	0	5	9	12	13	13	14	13	13	12	9	5	0	South		
	Northeast	0	51	58	26	13	13	14	13	13	12	9	5	0	Southeast		
	East	0	116	149	139	99	45	14	13	13	12	9	5	0	East		
NOV 21 & JAN 21	Southeast	0	95	144	162	157	133	90	41	14	12	9	5	0	Northeast	MAY 21 & JULY 23	
	South	0	12	44	81	110	122	140	122	110	81	44	12	0	North		
	Southwest	0	5	9	12	14	41	90	133	157	162	144	95	0	Northwest		
	West	0	5	9	12	13	13	14	45	99	139	149	116	0	West		
	Northwest	0	5	9	12	13	13	14	13	13	26	58	51	0	Southwest		
	Horizontal	0	21	67	124	153	176	183	176	153	124	67	21	0	Horizontal		
DEC 22	North	0	2	6	10	11	12	12	12	11	10	6	2	0	South	JUNE 21	
	Northeast	0	35	33	12	11	12	12	12	11	10	6	2	0	Southeast		
	East	0	85	117	122	88	39	12	12	11	10	6	2	0	East		
	Southeast	0	81	132	161	163	144	107	63	20	10	6	2	0	Northeast		
	South	0	21	59	104	137	154	162	154	137	104	59	21	0	North		
	Southwest	0	2	6	10	20	63	107	144	163	161	132	81	0	Northwest		
JUNE 21	West	0	2	6	10	11	12	12	39	88	122	117	85	0	West	JULY 23	
	Northwest	0	2	6	10	11	12	12	12	11	10	6	2	0	Southwest		
	Horizontal	0	8	29	64	101	123	129	123	101	64	29	8	0	Horizontal		
	North	0	0	3	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	South		
	Northeast	0	0	12	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Southeast		
	East	0	0	72	86	68	31	10	10	9	6	2	0	0	East		
JULY 23	Southeast	0	0	88	134	148	142	115	73	30	7	2	0	0	Northeast	AUG 24	
	South	0	0	51	99	134	158	165	158	134	99	51	0	0	North		
	Southwest	0	0	2	7	30	73	115	142	148	134	88	0	0	Northwest		
	West	0	0	2	6	9	10	10	31	68	86	72	0	0	West		
	Northwest	0	0	2	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Southwest		
	Horizontal	0	0	8	32	55	76	85	76	55	32	8	0	0	Horizontal		
Solar Gain Correction	Steel Sash, or No Sash × 1/.85 or 1.17	Haze — 15% (Max.)		Altitude + 0.7% per 1000 Ft				Dewpoint Decrease From 67 F + 7% per 10 F				Dewpoint Increase From 67 F — 7% per 10 F				South Lat. Dec. or Jan. + 7%	

Aportación solar máxima a 10° latitud sur

TABLE 15—SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS (Contd)

10°

Btu/(hr) (sq ft sash area)

10°

10° NORTH LATITUDE		AM		SUN TIME										PM		10° SOUTH LATITUDE	
Time of Year	Exposure	6	7	8	9	10	11	Noon	1	2	3	4	5	6	Exposure	Time of Year	
JUNE 21	North	19	44	50	45	44	43	41	43	44	45	50	44	2	South	DEC 22	
	Northeast	55	131	153	140	106	65	28	14	14	13	11	8	2	Southeast		
	East	54	134	155	139	98	41	14	14	14	13	11	8	2	East		
	Southeast	18	49	55	43	25	14	14	14	14	13	11	8	2	Northeast		
	South	2	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	2	North		
	Southwest	2	8	8	13	14	14	14	14	25	43	55	49	18	Northwest		
	West	2	8	8	13	14	14	14	41	98	139	155	134	54	West		
JULY 23 & MAY 21	Northeast	2	8	8	13	14	18	28	65	106	140	153	131	55	Southwest	JAN 21 & NOV 21	
	East	4	8	107	166	205	233	243	233	205	166	107	44	4	Horizontal		
	South	5	34	39	35	33	31	30	31	33	35	39	34	5	South		
	Northeast	42	127	148	133	109	56	22	14	14	13	11	7	1	Southeast		
	East	50	135	158	142	98	43	14	14	14	13	11	7	1	East		
	Southeast	26	57	66	56	32	14	14	14	14	13	11	7	1	Northeast		
	South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	North		
AUG 24 & APR 20	Southeast	1	7	11	13	14	14	14	14	32	56	66	57	26	Northwest	FEB 20 & OCT 23	
	South	1	7	11	13	14	14	14	43	98	142	158	135	50	West		
	Southwest	1	7	11	13	14	14	22	56	109	133	148	127	42	Southwest		
	West	3	42	107	166	210	236	247	236	210	166	107	42	3	Horizontal		
	Northeast	1	15	16	15	15	14	14	14	15	15	16	15	1	South		
	Northeast	17	113	130	111	80	34	14	14	14	13	11	7	1	Southeast		
	East	25	138	163	149	104	46	14	14	14	13	11	7	1	East		
SEPT 22 & MAR 22	Southeast	18	79	94	85	60	27	14	14	14	13	11	7	1	Northeast	MAR 22 & SEPT 22	
	South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	North		
	Southwest	1	7	11	13	14	14	14	27	60	85	94	79	18	Northwest		
	West	1	7	11	13	14	14	14	46	80	149	163	138	25	West		
	Northeast	1	7	11	13	14	14	14	24	15	111	130	113	17	Southwest		
	East	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	Horizontal		
	Horizontal	2	38	105	167	213	242	250	242	213	167	105	38	2	Horizontal		
OCT 23 & FEB 20	North	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	South	APR 20 & AUG 24	
	Northeast	1	89	103	80	45	17	14	14	14	13	11	6	1	Southeast		
	East	1	130	164	151	106	47	14	14	14	13	11	6	1	East		
	Southeast	1	97	127	122	94	56	21	14	14	13	11	6	1	Northeast		
	South	1	6	13	19	24	27	28	27	24	19	13	6	1	North		
	Southwest	1	6	11	13	14	14	21	56	94	122	127	97	1	Northwest		
	West	1	6	11	13	14	14	14	47	106	151	164	130	1	West		
NOV 21 & JAN 21	Northeast	1	31	97	160	207	235	247	235	207	160	97	31	1	Southwest	MAY 21 & JULY 23	
	East	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	0	Horizontal		
	Southeast	0	58	66	44	28	14	14	14	14	13	10	5	0	South		
	South	0	118	155	145	100	40	14	14	14	13	10	5	0	Southeast		
	Southwest	0	103	147	149	123	81	46	18	14	13	10	5	0	East		
	West	0	18	40	55	65	71	73	71	65	55	40	18	0	Northeast		
	Horizontal	0	5	10	13	14	18	46	81	123	149	147	103	0	Northwest		
DEC 22	North	0	5	10	13	14	14	14	40	100	145	155	118	0	West	JUNE 21	
	Northeast	0	5	10	13	14	14	14	28	44	66	58	0	0	Southwest		
	East	0	22	85	139	193	220	230	220	193	139	85	22	0	Horizontal		
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	South		
	South	0	27	37	17	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southeast		
	Southwest	0	99	143	132	93	39	14	14	13	12	9	4	0	East		
	West	0	99	153	161	146	109	70	31	17	12	9	4	0	Northeast		
JAN 21	Northeast	0	35	65	91	96	104	106	104	96	91	65	35	0	North	JULY 23	
	East	0	4	9	12	17	31	70	109	146	161	153	99	0	Northwest		
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	39	93	132	143	99	0	West		
	South	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southwest		
	Southwest	0	17	62	131	175	202	210	202	175	131	62	17	0	Horizontal		
	West	0	4	9	12	13	14	14	42	91	130	137	86	0	South		
	Horizontal	0	14	66	120	167	193	202	193	167	120	66	14	0	Southeast		
FEB 20	North	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	East	JUNE 21	
	Northeast	0	15	28	17	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southeast		
	East	0	86	137	130	91	42	14	14	13	12	9	4	0	East		
	Southeast	0	99	154	163	149	121	79	36	23	12	9	4	0	Northeast		
	South	0	50	74	94	109	116	120	116	109	94	74	50	0	North		
	Southwest	0	4	9	12	23	36	79	121	149	163	154	99	0	Northwest		
	West	0	4	9	12	13	14	14	42	91	130	137	86	0	West		
MAY 21	Northeast	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southwest	JUNE 21	
	East	0	14	66	120	167	193	202	193	167	120	66	14	0	Horizontal		
	Southeast	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	South		
	South	0	15	28	17	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southeast		
	Southwest	0	86	137	130	91	42	14	14	13	12	9	4	0	East		
	West	0	4	9	12	13	14	14	42	91	130	137	86	0	West		
	Horizontal	0	14	66	120	167	193	202	193	167	120	66	14	0	Horizontal		
Solar Gain Correction	Steel Sash, or No Sash X 1/.85 or 1.17	Haze - 15% (Max.)				Altitude + 0.7% per 1000 Ft				Dewpoint Decrease From 67 F + 7% per 10 F				Dewpoint Increase From 67 F - 7% per 10 F		South Lat. Dec. or Jan. + 7%	

Diferencia equivalente de temperatura a 40° latitud norte para el mes de Julio, para la cubierta

CONDI- TION	WEIGHT OF ROOF† (lb/sq ft)	SUN TIME																												
		AM												PM												AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
Exposed to Sun	10	-4	-6	-7	-5	-1	7	15	24	32	38	43	46	45	41	35	28	22	16	10	7	3	1	-1	-3					
	20	0	-1	-2	-1	2	9	16	23	30	36	41	43	43	40	35	30	25	20	15	12	8	6	4	2					
	40	4	3	2	3	6	10	16	23	28	33	38	40	41	39	35	32	28	24	20	17	13	11	9	6					
	60	9	8	6	7	8	11	16	22	27	31	35	38	39	38	36	34	31	28	25	22	18	16	13	11					
	80	13	12	11	11	12	13	16	22	26	28	32	35	37	37	35	34	34	32	30	27	23	20	18	14					
Covered with Water	20	-5	-2	0	2	4	10	16	19	22	20	18	16	14	12	10	6	2	1	1	-1	-2	-3	-4	-5					
	40	-3	-2	-1	-1	0	5	10	13	15	15	16	15	15	14	12	10	7	5	3	1	-1	-2	-3	-3					
	60	-1	-2	-2	-2	-2	2	5	7	10	12	14	15	16	15	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0					
Sprayed	20	-4	-2	0	2	4	8	12	15	18	17	16	15	14	12	10	6	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3					
	40	-2	-2	-1	-1	0	2	5	9	13	14	14	14	14	13	12	9	7	5	3	1	0	0	-1	-1					
	60	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	5	8	10	12	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	-1					
Shaded	20	-5	-5	-4	-2	0	2	6	9	12	13	14	13	12	10	8	5	2	1	0	-1	-3	-4	-5	-5					
	40	-5	-5	-4	-3	-2	0	2	5	8	10	12	13	12	11	10	8	6	4	2	0	-1	-3	-4	-5					
	60	-3	-3	-2	-2	-2	-1	0	2	4	6	8	9	10	10	10	9	8	6	4	2	1	0	-1	-2					
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
		AM								PM												AM								
		SUN TIME																												

Equation: Heat Gain Thru Roofs, Btu/hr = (Area, sq ft) × (equivalent temp diff) × (transmission coefficient U, Tables 27 or 28)

*With attic ventilated and ceiling insulated roofs, reduce equivalent temp diff 25%.

†For peaked roofs, use the roof area projected on a horizontal plane.

‡For other conditions, refer to corrections below and on page 64.

§"Weight per sq ft" values for common types of construction are listed in Tables 27 or 28.

Ganancia de calor debido al personal operativo dentro de un área específica

DEGREE OF ACTIVITY	TYPICAL APPLICATION	Met- abolic Rate (Adult Male) Btu/hr	Average Ad- justed Met- abolic Rate* Btu/hr	ROOM DRY-BULB TEMPERATURE									
				82 F		80 F		78 F		75 F		70 F	
				Btu/hr		Btu/hr		Btu/hr		Btu/hr		Btu/hr	
				Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent	Sensible	Latent
Seated at rest	Theater, Grade School	390	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Seated, very light work	High School	450	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Office worker	Offices, Hotels, Apts., College	475	450	180	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Standing, walking slowly	Dept., Retail, or Variety Store	550											
Walking, seated	Drug Store	550	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
Standing, walking slowly	Bank	550											
Sedentary work	Restaurant†	500	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Light bench work	Factory, light work	800	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	385
Moderate dancing	Dance Hall	900	850	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Walking, 3 mph	Factory, fairly heavy work	1000	1000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Heavy work	Bowling Alley‡, Factory	1500	1450	450	1000	465	985	485	965	525	925	605	845

*Adjusted Metabolic Rate is the metabolic rate to be applied to a mixed group of people with a typical percent composition based on the following factors:
Metabolic rate, adult female = Metabolic rate, adult male × 0.85
Metabolic rate, children = Metabolic rate, adult male × 0.75

†Restaurant—Values for this application include 60 Btu per hr for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent heat per hr).

‡Bowling—Assume one person per alley actually bowling and all others sitting, metabolic rate 400 Btu per hr; or standing, 550 Btu per hr.

Ganancia de calor por los motores eléctricos en operación continua

NAMEPLATE† OR BRAKE HORSEPOWER	FULL LOAD MOTOR EFFICIENCY PERCENT	LOCATION OF EQUIPMENT WITH RESPECT TO CONDITIONED SPACE OR AIR STREAM‡		
		Motor In - Driven Machine In $\frac{HP \times 2545}{\% \text{ EFF}}$	Motor Out - Driven Machine In $HP \times 2545$	Motor In - Driven Machine out $\frac{HP \times 2545 (1 - \% \text{ EFF})}{\% \text{ EFF}}$
		Btu per Hour		
1/20	40	320	130	190
1/12	49	430	210	220
1/6	55	580	320	260
1/4	60	710	430	280
1/2	64	1,000	640	360
3/4	66	1,290	850	440
1	70	1,820	1,280	540
3/2	72	2,680	1,930	750
2	79	3,220	2,540	680
3	80	4,770	3,820	950
4	80	6,380	5,100	1,280
5	81	8,450	7,650	1,800
7 1/2	82	15,600	12,800	2,800
10	85	22,500	19,100	3,400
15	85	30,000	25,500	4,500
20	86	44,500	38,200	6,300
25	87	58,500	51,000	7,500
30	88	72,400	63,600	8,600
40	89	85,800	76,400	9,400
50	89	115,000	102,000	13,000
60	89	143,000	127,000	16,000
75	89	172,000	153,000	19,000
100	90	212,000	191,000	21,000
125	90	264,000	235,000	29,000
150	90	334,000	318,000	36,000
200	91	420,000	382,000	38,000
250	91	560,000	510,000	50,000
300	91	700,000	636,000	64,000

*For intermittent operation, an appropriate usage factor should be used, preferably measured.

†If motors are overloaded and amount of overloading is unknown, multiply the above heat gain factors by the following maximum service factors:

Maximum Service Factors

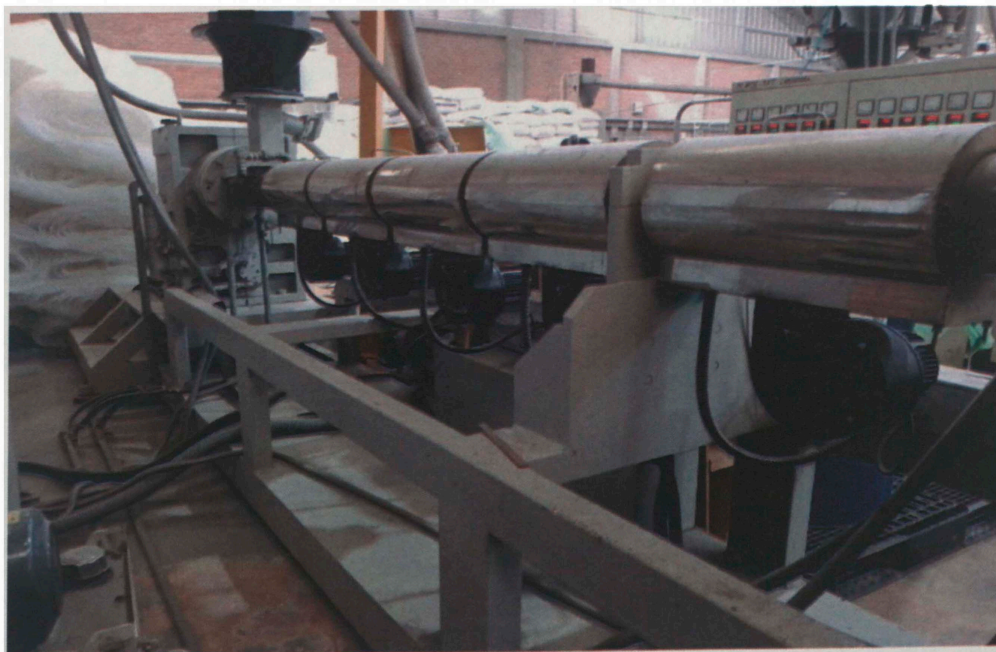
ANEXO B:

Panel Fotográfico

Maquina extrusora 1



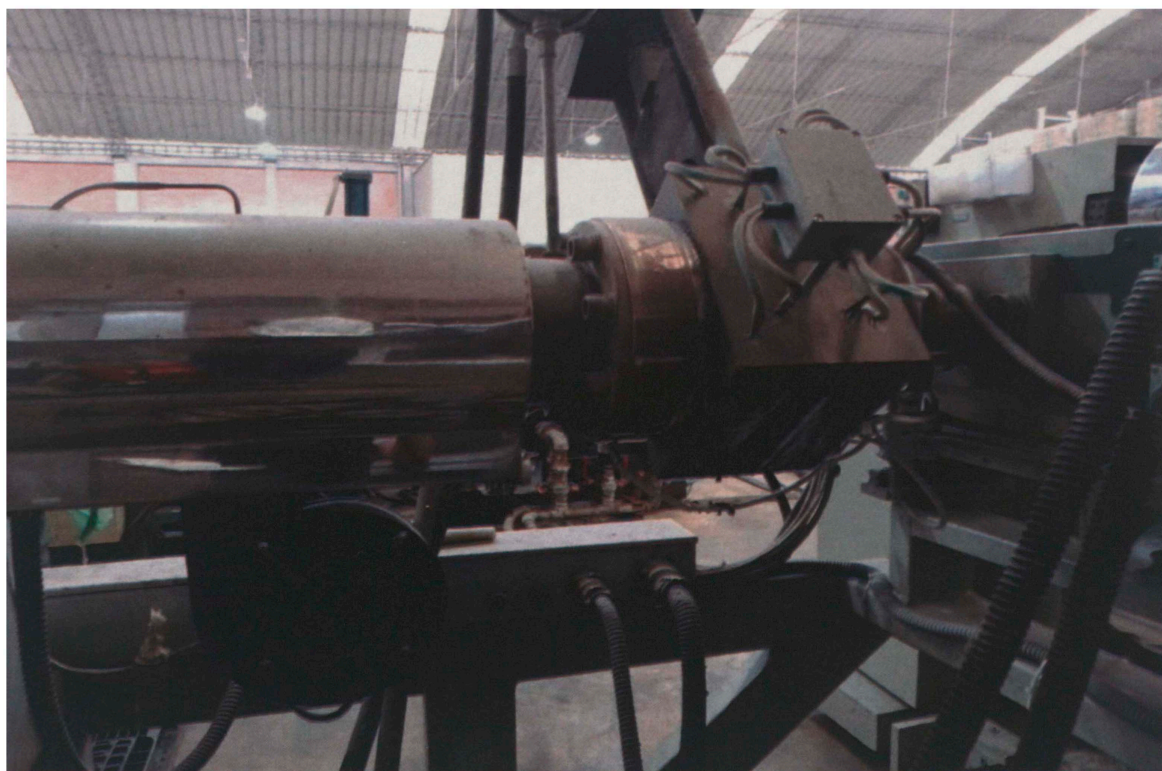
Maquina extrusora 1 – Cañón extrusor



Maquina extrusora 1 – Motor



Maquina extrusora 1 – Cabezal



Maquina extrusora 2



Maquina extrusora 2 – Cañón extrusor



Maquina extrusora 2 – Motor



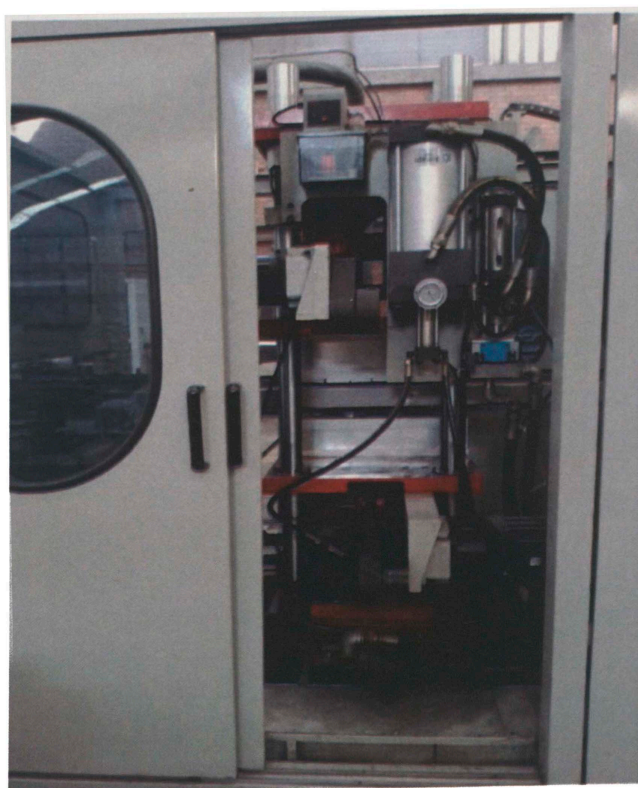
Maquina extrusora 2 – Cabezal



Maquina termo formadora de bandejas 1



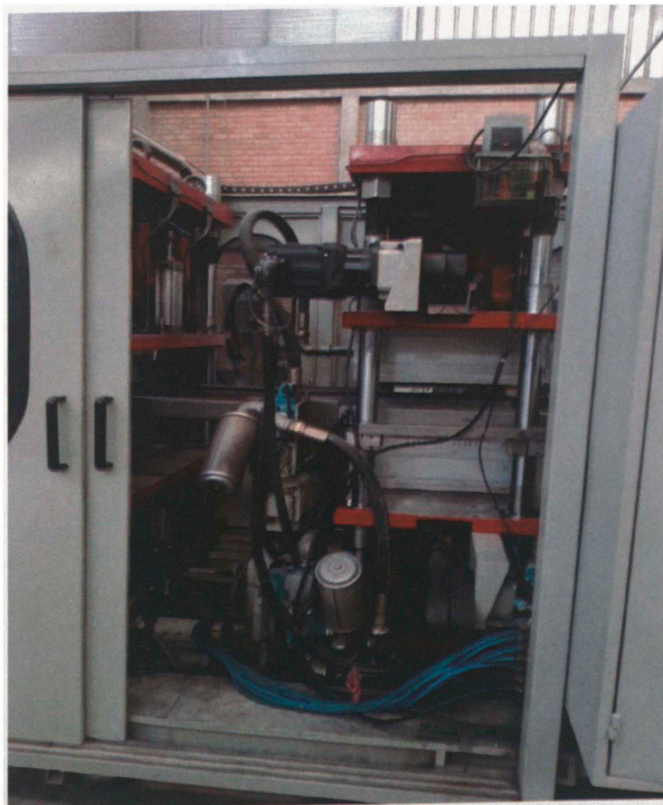
Maquina termo formadora de bandejas 1 – Modulo de troquelado



Maquina termo formadora de bandejas 2



Maquina termo formadora de bandejas 2 – Modulo de termo formado



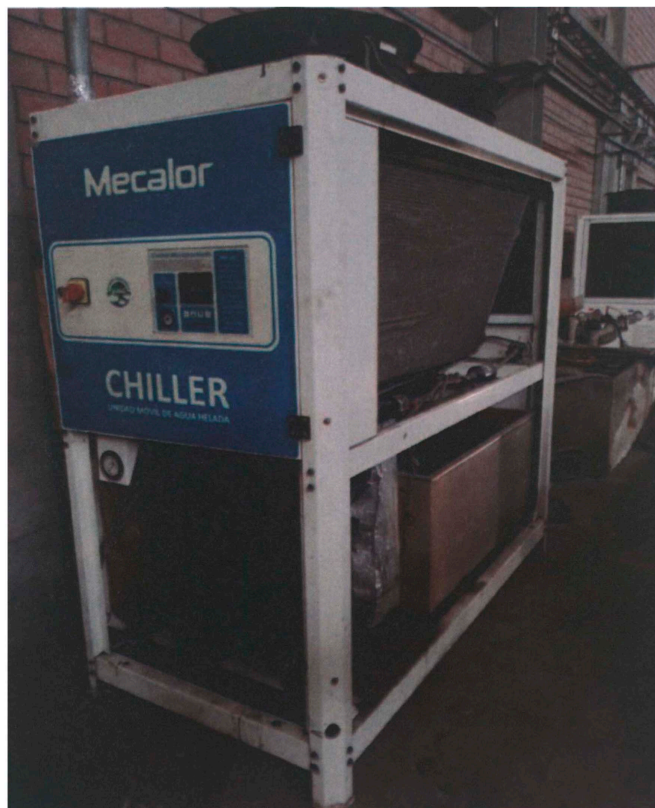
Maquina Chiller 1



Maquina Chiller 2



Maquina Chiller 3



Triturador



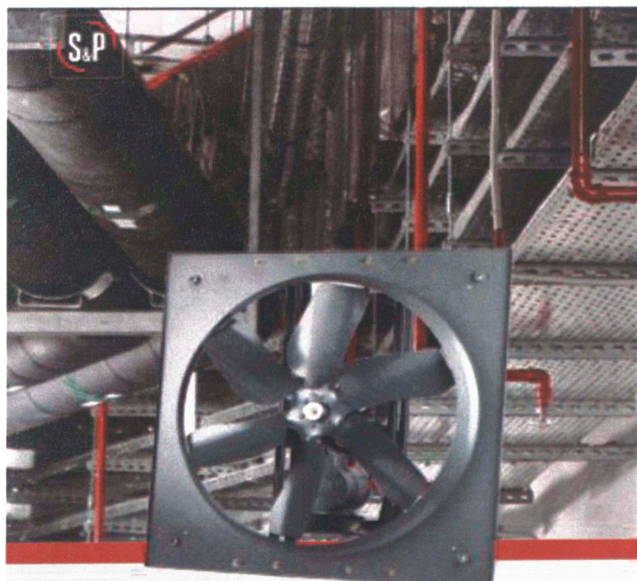
ANEXO C

Renovaciones en locales especiales

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES POR HORA (Cantidad)
Talleres de decapado	5-15
Tintorerías	10-20
Locales de pintura a pistola	20-50
Garajes: - pequeños - grandes	10-15 5-8
Hospitales - Grupo de quirófanos	5-12
Cocinas: - Cocinas de tamaño medio : H = 3 a 4 m H = 4 a 6 m - Cocinas grandes H = 3 a 4 m H = 4 a 6 m	20-30 15-20 20-30 15-30
Laboratorios - Aspiración de digestores	8-15 200-400
Salas de medición y de verificación	8-15
Naves de montaje	4-10
Lavanderías - Sala de lavado - Sala de planchado - Sala de calandria o prensado de ropa	15-20 10-15 10-15
Talleres en general	3-8
Taller de barnizado	10-20

Características de los ventiladores Soler&Palau

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m³/hr / CFM	Presión sonora dB (A)*	Peso aprox. kg
HGB-800- ½	530	1/2	127 / 220	10.8 / 4.6	12,146 / 7,145	58	41
HGT-800- ½	530	1/2	208 -230 / 460	1.99-1.9 / 0.98	12,146 / 7,145	58	41
HGT-800- ¾	700	3/4	208 -230 / 460	2.8-3.2 / 1.6	16,200 / 9,529	66	41
HGB-800- 1	800	1	127 / 220	14.2 / 6.83	18,340 / 10,788	69	41
HGT-800- 1	800	1	230 / 460	3.0 / 1.5	18,340 / 10,788	69	41
HGT-1000- ¾	550	3/4	208-230 / 460	4.3 / 2.1	24,666 / 14,509	67	48
HGB-1000- 1	610	1	127 / 220	29.0 / 13.5	27,630 / 16,253	69	48
HGT-1000- 1	610	1	230 / 460	5.7 / 2.8	27,630 / 16,253	69	48
HGT-1000- 1½	700	1 1/2	230 / 460	4.3 / 2.1	31,663 / 18,625	72	48
HGB-1250- 1	450	1	127 / 220	14.2 / 6.83	32,300 / 19,000	68	61
HGT-1250- 1	450	1	230 / 460	3.0 / 1.5	32,300 / 19,000	68	61
HGT-1250- 1½	500	1 1/2	230 / 460	4.3 / 2.1	35,833 / 21,078	70	61
HGB-1250- 2	540	2	127 / 220	29.0 / 13.5	38,900 / 22,882	72	65
HGT-1250- 2	540	2	230 / 460	5.7 / 2.8	38,900 / 22,882	72	65
HGT-1250- 3	610	3	230 / 460	7.8 / 3.9	43,750 / 25,735	74	76
HGT-1500- 3	550	3	230 / 460	7.8 / 3.9	59,400 / 34,941	76	144
HGT-1500- 5	550	5	230 / 460	12.5 / 6.2	74,630 / 43,900	79	148
HGT-1500- 7½	550	7 1/2	230 / 460	18.1 / 9.1	85,989 / 50,581	84	164
HGT-1500- 10	550	10	230 / 460	23.9 / 11.9	92,582 / 54,460	87	172
HGT-1800- 7½	440	7 1/2	230 / 460	18.1 / 9.1	104,445 / 61,438	81	311
HGT-1800- 10	440	10	230 / 460	23.9 / 11.9	118,340 / 69,612	85	318
HGT-1800- 15	440	15	208-230 / 460	35.8 / 17.9	136,875 / 80,515	89	358



CARACTERÍSTICAS

- Hélices aerodinámicas y eficientes.
- Embocadura embutida en todos los tamaños con venturi prolongado para reducción de turbulencias.
- Diseño especial de soporte y base motor de gran resistencia, que facilita el mantenimiento.
- Rodamientos a bolas de uso industrial.
- Acabado de pintura en polvo poliéster electrostática, con protección anticorrosiva.
- Eje en acero calculado con diámetros que superan los parámetros de carga.
- Motores trifásicos totalmente cerrados, con ventilación forzada.

Aplicaciones especiales (bajo pedido):

- Atmósferas corrosivas: acabado pintura epóxica y sistema epóxico poliéster.
- Extracción o ventilación de uso industrial.
- Ideal para mover grandes volúmenes de aire.
- Para ambientes donde el nivel sonoro sea un factor importante.

HGB-T Extractores helicoidales

HGB-T 800, 1000, 1250, 1500 y 1800

Este modelo es el resultado de procesos productivos de tecnología y control de calidad avanzado.

Álabes de características especiales y diseño eficiente con 22 configuraciones de hélice demotor.

RANGOS DE FABRICACIÓN

Modelos 800 (31") a 1250 (49")

Hélices de 6 álabes con diseño aerodinámico fabricado en acero al carbón y unido a un disco estrella, embutido de fijación a fecha.

Modelos 1500 (59") y 1800 (71")

Hélices de gran robustez, con 6 álabes para el modelo 1800 y 5 palas para el modelo 1500. Fabricadas en acero al carbón, unidas al casquillo por un cartabón en placa de acero de gran resistencia y asegurada con tornillería especial.

APLICACIONES



ALMACENES Y
BODEGAS



NAVES
INDUSTRIALES



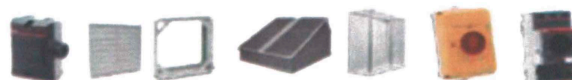
INVERNADEROS



LOCALES
DEPORTIVOS

ACCESORIOS

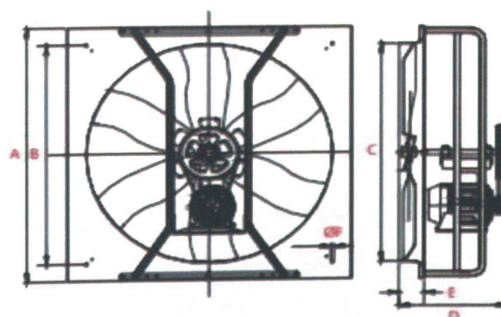
Consultar pág. 145



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	HGB-T 800	HGB-T 1000	HGB-T 1250
A	1008	1175	1455
B	835	973	1255
C	800	1010	1260
D	468	548	555
E	90	98	103
F	16	16	16

Dimensiones en mm.



ANEXO D

Ficha técnica del termo-higrómetro HTC-2.

HTC-2 Termo-higrómetro



Especificaciones

Rango de temperatura:
Interior: -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$
Exterior: -50°C a $+70^{\circ}\text{C}$

Rango de humedad:
Interior: 20% a 99% H.R.
(Cuando la humedad es $<20\%$ H.R., muestra 10% H.R. directamente).

Alimentación : 1,5V (tamaño AAA x1)

Funciones

- Pantalla de temperatura interior / exterior, pantalla de humedad interior.
- Unidad de temperatura $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ cambiable.
- Memoria de valores MAX / MIN de temperatura y humedad.
- Dos modos de visualización de la hora 12h/24h.
- Función de visualización del reloj y la fecha que cambia automáticamente en 5 segundos entre el reloj y la fecha.
- Función de alarma horaria.
- Función de alarma diaria.
- Muestra automáticamente la temperatura interior y exterior alternativamente en 5 segundos.

Operación

- Abra la tapa del compartimento de la batería, saque el aislante de polaridad, coloque la tapa, luego el medidor comienza a funcionar.

- Función de botones
(MODE) cambia el modo de visualización de CLOCK y ALARM, establece la hora actual, alarma, visualización de 12h/24h y fecha. (ADJ) ajusta el valor de lo que se está configurando. ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$) cambia la unidad de temperatura entre Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). (RESET) borra todos los valores establecidos en la memoria, todos los valores vuelven al original. (MEMORY) presione para mostrar los valores de temperatura y humedad MAX y MIN memorizados.
- En estado de original, presione y mantenga presionado (MODE) durante 2 segundos, el valor de los minutos parpadea, presione (ADJ) para ajustar el valor de los minutos, presione (MODE) continuamente, puede ajustar el valor de la hora en 12h/24h, fecha (D), mes (M) respectivamente.
- Bajo el modo CLOCK, entre el valor de la hora y el valor de los minutos parpadea cada segundo, presione (MODE) una vez, cambie el modo CLOCK al modo ALARM, luego " " entre el valor de la hora y el valor de los minutos no parpadea, ahora, presione el botón (ADJ), puede encender / apagar la función de ALARM. Mantenga pulsado (MODE) durante 2 segundos para configurar el tiempo de ALARMA.
- En modo ALARM, el medidor volverá al modo RELOJ si no hay ninguna operación en 1 minuto. Presione (MODE) una vez, cambie la pantalla a la fecha y el medidor regresará automáticamente al modo CLOCK en 3 segundos.
- Pulse el botón (MEMORY) para visualizar los valores MAX / MIN de temperatura y humedad. Presione (MEMORY) durante 2 segundos, luego los valores MAX / MIN memorizados se borran, el medidor comienza a memorizar nuevos valores MAX / MIN.

Atenciones

- Presione el botón (RESET) por una vez cuando el medidor se usa por primera vez o se reemplaza la batería.
- Presione el botón (RESET) por una vez si aparece alguna pantalla anormal.
- Coloque la batería reemplazada en puntos de acopio establecidos no en basureros.
- El periodo de garantía es de tres meses a contar de su compra.

ANEXO E

Mediciones de Temperatura

Medición de temperatura en la zona A, con los ventiladores apagados para el día 07/07/25.



Medición de temperatura en la zona B, con los ventiladores apagados para el día 07/07/25.



Medición de temperatura en la zona C, con los ventiladores apagados para el día
07/07/25.



Medición de temperatura en la zona A, con los ventiladores encendidos para el día 07/07/25.



Medición de temperatura en la zona B, con los ventiladores encendidos para el día 07/07/25.



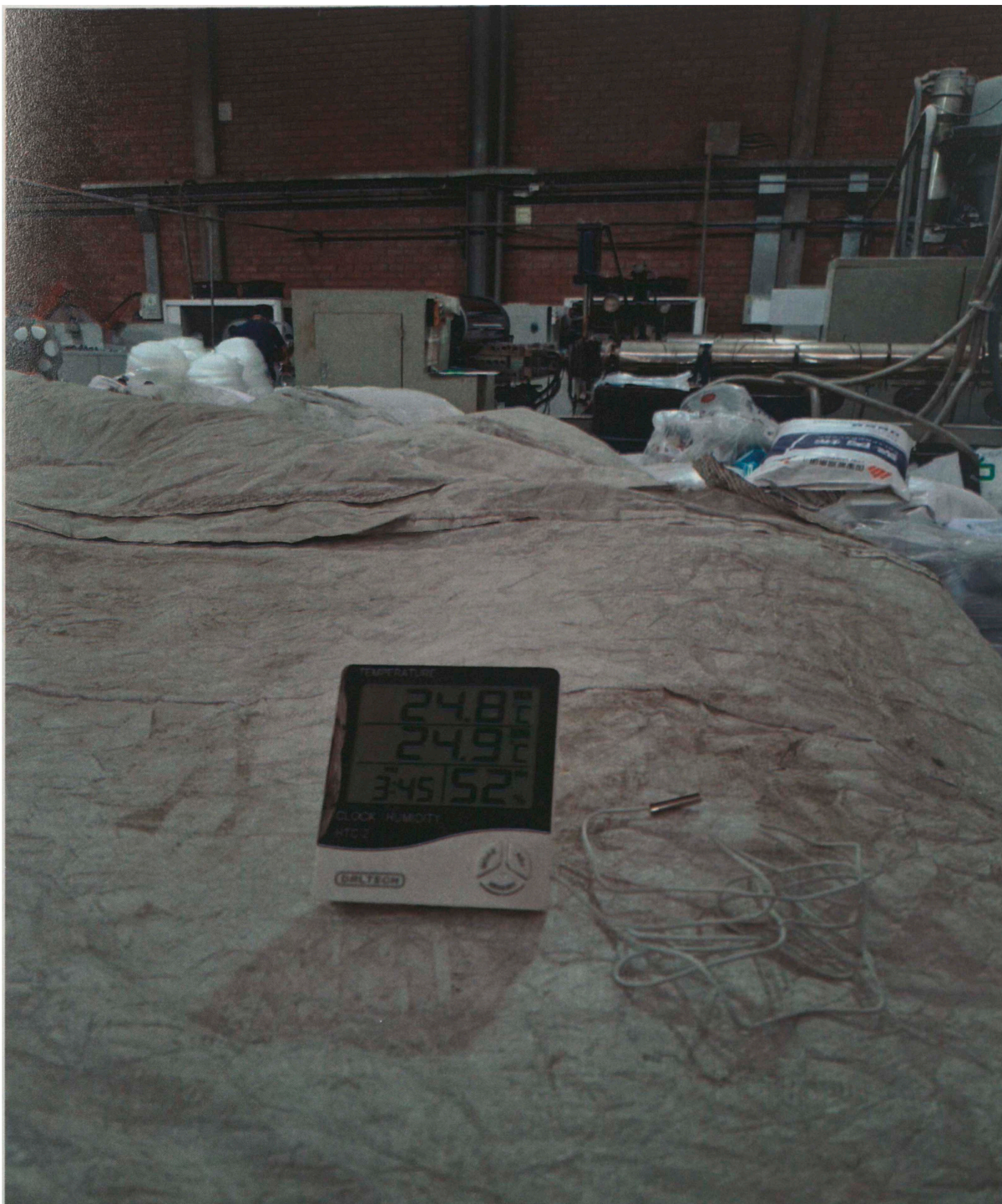
Medición de temperatura en la zona C, con los ventiladores encendidos para el día 07/07/25.



Medición de temperatura en la zona A, con los ventiladores apagados para el día
08/07/25.



Medición de temperatura en la zona B, con los ventiladores apagados para el día 08/07/25.



Medición de temperatura en la zona C, con los ventiladores apagados para el día 08/07/25.



Medición de temperatura en la zona A, con los ventiladores encendidos para el día 08/07/25.



Medición de temperatura en la zona B, con los ventiladores encendidos para el día 08/07/25.



Medición de temperatura en la zona C, con los ventiladores encendidos para el día
08/07/25.

