

Guía para la gestión del estrés térmico:

en el personal de cámaras de congelación, conservación y antecámaras del sector de empresas del frío industrial



CON LA FINANCIACIÓN DE:

AS2024-0037



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ECONOMÍA SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



Índice de contenidos

1. Introducción	6
1.1. Objeto de la guía	7
1.2. Contexto del sector del frío industrial y logística	7
1.3. Marco normativo aplicable	8
2. Concepto de estrés térmico	13
2.1. Valores de referencia y métodos de evaluación	13
3. Entorno de trabajo en el frío industrial	16
3.1. Instalaciones	16
3.2. Puestos de trabajo	21
3.3. Riesgo de estrés térmico	22
3.3.1. Efectos del estrés térmico por frío	23
3.3.2. Factores determinantes del riesgo térmico	23
3.3.3. Enfoque preventivo integrado	24
3.4. Puestos con mayor exposición al riesgo	24
4. Evaluación del estrés térmico por frío	27
4.1. Medición de parámetros ambientales	27
4.1.1. Procedimiento de toma de datos	29
4.2. Nivel de actividad metabólica	29
4.3. Cálculo del aislamiento requerido (IREQ)	31
4.4. Comparación con el aislamiento real de la ropa (I _{cl})	33
4.5. Determinación de límites de exposición	34
4.6. Métodos complementarios	34
4.7. Enfoque práctico en empresas del frío industrial	36

5. Análisis cuantitativo de empresas muestreadas	40
5.1. Análisis	40
5.2. Resultados	41
5.3. Conclusiones	44
6. Análisis cualitativo de empresas muestreadas	47
6.1. Análisis	47
6.2. Resultados	47
7. Medidas preventivas	51
7.1. Ingeniería y entorno	51
7.1.1. Diseño de antecámaras para evitar choques térmicos	51
7.1.2. Control de humedad y velocidad del aire	53
7.1.3. Sistemas de alarmas térmicas y sensores de gases	55
7.1.4. Otros controles de entorno relevantes	56
7.2. Organización del trabajo	57
7.2.1. Rotación de tareas y pausas en zonas templadas	57
7.2.2. Limitación del tiempo de exposición en cámaras de congelación	57
7.2.3. Protocolos ante síntomas de hipotermia/congelación	57
7.2.4. Salud laboral, aptitud y factores personales	58
7.3. Equipos de Protección Individual (EPI)	59
7.3.1. Ropa de protección térmica	60
7.3.2. Guantes y botas aislantes	61
7.3.3. Protección facial y de cabeza en muy baja temperatura	62
7.3.4. Gestión y mantenimiento del EPI	63
8. Formación e información	66
8.1. Concienciación del personal sobre riesgos y síntomas	67
8.2. Formación en primeros auxilios específicos por frío	67
8.3. Protocolos de actuación ante emergencias	68
9. Conclusiones	71

10. Bibliografía.....	74
10.1. Normativa.....	74
10.2. Normas Internacionales.....	74
10.3. Bibliografía científica y técnica.....	75



Introducción

1. Introducción

El **sector del frío industrial** constituye una de las actividades con mayor exigencia en materia de prevención de riesgos laborales, al concentrar a un número importante de personas trabajadoras expuestas de manera continuada a ambientes de bajas temperaturas. El funcionamiento de cámaras de conservación, congelación y antecámaras implica la presencia de condiciones ambientales extremas que, sin una adecuada gestión, pueden derivar en estrés térmico por frío, con consecuencias negativas tanto para la salud de los trabajadores como para la seguridad de las operaciones.



La exposición prolongada a temperaturas bajas provoca una serie de respuestas fisiológicas —vasoconstricción, pérdida de destreza manual, incremento del gasto metabólico— que, en ausencia de medidas de protección, pueden evolucionar hacia situaciones de hipotermia, congelaciones locales y aumento del riesgo de accidentes laborales. De igual modo, se ha constatado la asociación entre el trabajo en frío y determinados trastornos musculoesqueléticos, especialmente en extremidades y espalda, lo que refuerza la necesidad de una gestión integral del riesgo.

La presente guía tiene como objetivo establecer criterios técnicos y preventivos para la gestión del estrés térmico en personal que desarrolla su actividad en cámaras de congelación, conservación y antecámaras del sector del frío industrial. Para ello se han tomado como referencia normativa la *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales*, el *Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo* y la norma *UNE-EN ISO 11079:2009. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación e interpretación del estrés debido al frío empleando el aislamiento requerido de la ropa (IREQ) y los efectos del enfriamiento local*, relativa al cálculo del aislamiento requerido de la vestimenta (IREQ).

Asimismo, se han incorporado resultados procedentes de estudios sectoriales y mediciones reales en empresas del ámbito logístico y de almacenamiento frigorífico.

En este marco, la guía se estructura en distintos apartados que recogen: la definición del estrés térmico por frío, la caracterización de las zonas de trabajo, los métodos de evaluación aplicables, así como las medidas preventivas a nivel técnico, organizativo y de protección personal. El fin último es proporcionar a empresas y personas trabajadoras una herramienta práctica de gestión, que permita reducir la incidencia de problemas de salud y mejorar las condiciones de trabajo en un sector especialmente vulnerable.

1.1. Objeto de la guía

La presente guía tiene como finalidad analizar, evaluar y proponer medidas preventivas frente al estrés térmico por frío en el personal que desarrolla su actividad en cámaras de congelación, conservación y antecámaras dentro del sector del frío industrial.

De manera más específica, **se persiguen los siguientes objetivos:**

- **Identificar Las Condiciones Ambientales** de trabajo en las distintas áreas del frío industrial (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, gradientes térmicos y tiempos de exposición).
- **Caracterizar los puestos de trabajo expuestos**, incluyendo mozos de almacén, carretilleros, operarios de manipulación y personal de carga y descarga, describiendo sus tareas y cargas metabólicas asociadas.
- **Aplicar métodos normalizados de evaluación del riesgo**, principalmente el cálculo del aislamiento requerido de la ropa (IREQ, según ISO 11079) y el contraste con el aislamiento real de la vestimenta, así como la valoración de márgenes de seguridad térmica.
- **Detectar situaciones de riesgo** en aquellas zonas críticas (especialmente cámaras de congelación y áreas de expedición) donde se identifican condiciones ambientales más severas o márgenes negativos de aislamiento.
- **Establecer criterios preventivos y recomendaciones** prácticas en materia de diseño de instalaciones, organización del trabajo, selección de ropa de protección térmica y formación de los trabajadores.
- **Contribuir a la mejora de la salud laboral y la seguridad** en el sector del frío industrial, reduciendo la incidencia de trastornos musculoesqueléticos, patologías derivadas de la exposición al frío y accidentes asociados a la pérdida de destreza y capacidad de reacción.

1.2. Contexto del sector del frío industrial y logística

El sector del frío industrial y la logística asociada constituye un pilar fundamental de la cadena alimentaria y de distribución de productos sensibles a la temperatura. Las actividades desarrolladas en este ámbito incluyen cámaras de conservación, congelación, antecámaras, muelles de carga y áreas de expedición, donde el personal desempeña tareas de almacenamiento, manipulación, carga y descarga de mercancías en condiciones ambientales controladas.

Este sector se caracteriza por una alta demanda de mano de obra en puestos operativos, con turnos rotativos y jornadas prolongadas, en los que los trabajadores están expuestos a temperaturas que oscilan desde 0 a +10 °C en antecámaras, 0 a +8 °C en cámaras de conservación y hasta -25 °C o inferiores en cámaras de congelación. Estas condiciones, unidas a la necesidad de movimientos repetitivos y manipulación de cargas, generan un entorno de trabajo con riesgos específicos para la salud y la seguridad laboral.

1.3. Marco normativo aplicable

La gestión preventiva en entornos con exposición a bajas temperaturas requiere la integración coordinada de obligaciones legales y criterios técnicos que garanticen la protección de la salud, la ergonomía térmica y la eficiencia operativa. Dicho marco se sustenta en un conjunto de disposiciones normativas de rango legal y técnico, que determinan los mínimos exigibles en materia de seguridad y salud laboral, así como los procedimientos de evaluación, control y verificación del confort térmico.

■ **Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL)**

Esta ley constituye la base del sistema español de prevención, estableciendo en su artículo 14 la obligación general del empresario de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores en todos los aspectos relacionados con el trabajo. En el contexto del frío industrial, dicha obligación implica la identificación, evaluación y control de los riesgos derivados de la exposición a temperaturas extremas, tanto en cámaras frigoríficas como en zonas anexas (antecámaras, muelles, pasillos de tránsito, etc.).

La LPRL exige asimismo la planificación de la actividad preventiva (art. 16), la adaptación de las condiciones de trabajo a las características personales de los trabajadores (art. 25) y la formación e información específica sobre los riesgos térmicos y las medidas de protección adoptadas (art. 19). De igual modo, obliga a la empresa a garantizar la vigilancia de la salud (art. 22), lo cual resulta esencial para detectar precozmente efectos fisiológicos del estrés térmico por frío, como trastornos vasculares o musculoesqueléticos.

En resumen, la LPRL constituye el marco jurídico de referencia que integra la gestión del frío dentro del sistema general de prevención, asegurando la coordinación entre medidas técnicas, organizativas y de vigilancia sanitaria.

■ **Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo**

Este Real Decreto establece las condiciones ambientales mínimas que deben reunir los lugares de trabajo, incluidas las relativas a temperatura, humedad, ventilación e iluminación. En el ámbito del frío industrial, resulta especialmente relevante lo dispuesto en su Anexo III, punto 3, que exige que la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios no sea inferior a 17 °C, y en los trabajos ligeros no inferior a 14 °C, salvo en aquellos casos en que las exigencias técnicas lo impidan, como sucede en cámaras de refrigeración y congelación.

En estos casos, el empresario debe aplicar medidas compensatorias adecuadas, tales como la provisión de ropa de protección térmica, la limitación de los tiempos de exposición, el establecimiento de pausas en zonas templadas o el uso de cabinas climatizadas en carretillas y maquinaria de interior.

El RD 486/1997 constituye, por tanto, la norma de referencia en cuanto a condiciones ambientales de los lugares de trabajo, estableciendo el marco para el diseño ergonómico de los espacios frigoríficos y la selección de medidas compensatorias frente al estrés térmico por frío.

■ **Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.**

Este Real Decreto se aplica en el sector del frío industrial debido a la presencia de sustancias químicas utilizadas como refrigerantes o fluidos de trabajo, tales como amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), hidrofluorocarbonos (HFC) o mezclas de glicoles. Dichas sustancias pueden presentar riesgos adicionales de toxicidad, inflamabilidad o asfixia, especialmente en espacios confinados o mal ventilados.

El RD 374/2001 obliga a evaluar la exposición potencial a agentes químicos y establecer medidas preventivas basadas en la jerarquía de control: sustitución del producto peligroso, diseño de sistemas estancos, ventilación forzada y control de fugas, así como la formación específica en manipulación segura de refrigerantes.

Además, el riesgo combinado entre frío intenso y exposición química puede amplificar los efectos adversos sobre la salud (por ejemplo, broncoespasmos o irritaciones cutáneas en condiciones de baja temperatura). Por ello, este Real Decreto se integra en la gestión global del riesgo térmico, vinculando la evaluación higiénica con la térmica.

■ **Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas**

En entornos logísticos y de almacenamiento en cámaras de frío, este Real Decreto adquiere gran relevancia por la frecuente manipulación de productos congelados, cajas y bandejas, muchas veces en condiciones ergonómicas adversas. Las bajas temperaturas reducen la elasticidad muscular, la sensibilidad táctil y la destreza manual, aumentando el riesgo de lesiones lumbares y musculoesqueléticas durante el levantamiento o transporte de cargas.

El RD 487/1997 obliga al empresario a evitar la manipulación manual siempre que sea posible, sustituyéndola por medios mecánicos (palets, transpaletas, carretillas elevadoras) y, cuando ello no sea viable, a aplicar técnicas seguras de manipulación y medidas de organización del trabajo (rotaciones, pausas térmicas, limitación de pesos).

De este modo, se establece la necesidad de integrar la ergonomía térmica con la mecánica, considerando que el rendimiento físico y la fuerza máxima voluntaria disminuyen significativamente en ambientes fríos.

Normas técnicas UNE e ISO aplicables

Las normas técnicas complementan el marco legal proporcionando criterios cuantitativos, métodos de evaluación y niveles de referencia para la protección frente al frío. Entre ellas destacan:

- **UNE-EN ISO 11079 ISO 11079:2009. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación e interpretación del estrés debido al frío empleando el aislamiento requerido de la ropa (IREQ) y los efectos del enfriamiento local**, que establece el método de cálculo del IREQ (aislamiento requerido de la vestimenta) y del DLE (duración límite de exposición), considerando temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, actividad metabólica

y aislamiento de la ropa. Esta norma permite determinar si la combinación de condiciones térmicas y vestimenta garantiza el equilibrio térmico o si deben aplicarse medidas adicionales (aumento del aislamiento o reducción del tiempo de exposición).

- **UNE-EN ISO 7730:2025, Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local que define los criterios de confort térmico en ambientes moderados mediante los índices PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).** Aunque orientada a entornos interiores templados, esta norma es útil en zonas intermedias (muelles, antecámaras, salas de manipulación) donde se busca compatibilizar confort térmico y requisitos higiénico-sanitarios.

Otras normas relacionadas, como la **UNE-EN 342:2017. Ropas de protección. Conjuntos y prendas de protección contra el frío**, **UNE-EN 14058:2018. Ropa de protección. Prendas para protección contra ambientes fríos** y **UNE-EN 511:1996. Guantes de protección contra el frío**, establecen los niveles mínimos de aislamiento, permeabilidad al aire y resistencia térmica exigibles a los Equipos de Protección Individual (EPIs), garantizando una selección objetiva y verificable conforme al tipo de exposición.

Todo este marco normativo busca en este sentido que si una persona trabajadora se encuentra a una exposición continuada donde las temperaturas son inferiores a las condiciones de confort térmico y por tanto se produce una serie de respuestas fisiológicas adaptativas cuyo objetivo inicial es conservar el calor corporal, pero que, si se prolongan, pueden transformarse en efectos adversos significativos sobre la salud y el rendimiento laboral. Entre las reacciones más relevantes destacan la vasoconstricción periférica, que disminuye el flujo sanguíneo en extremidades y aumenta el riesgo de lesiones por frío; la reducción de la destreza y sensibilidad manual, que compromete la manipulación segura de herramientas o cargas; y el incremento del gasto metabólico, consecuencia del esfuerzo del organismo por mantener la temperatura central.

Cuando estas condiciones no se controlan adecuadamente, el trabajador puede evolucionar hacia estados de hipotermia leve o moderada, congelaciones localizadas y fatiga generalizada, incrementando la probabilidad de error operativo y la siniestralidad.

Los estudios ergonómicos realizados en el sector del frío industrial evidencian, además, una mayor incidencia de trastornos musculoesqueléticos, especialmente en columna lumbar, hombros y extremidades superiores, como resultado de la interacción entre el frío ambiental, la manipulación manual de cargas y las posturas forzadas mantenidas. El frío reduce la elasticidad muscular y la capacidad de respuesta motora, elevando el riesgo de lesiones tanto agudas como por sobrecarga repetitiva.

Por todo ello, se considera imprescindible integrar la gestión del estrés térmico por frío en la planificación preventiva de las empresas del sector, siguiendo criterios cuantificables y reproducibles. La aplicación del método IREQ (UNE-EN ISO 11079), junto con la valoración de la carga metabólica y la duración efectiva de la exposición (DLE), permite establecer límites seguros y definir estrategias preventivas basadas en tres ejes:

Medidas técnicas, orientadas al control de las condiciones ambientales (aislamiento térmico de cámaras, puertas de apertura rápida, cortinas de aire, zonas templadas).

Medidas organizativas, mediante la rotación de tareas, pausas de recuperación térmica y limitación de la exposición individual.

Protección personal, seleccionando prendas y equipos certificados (UNE-EN 342, UNE-EN 14058, UNE-EN 511) que aseguren el aislamiento requerido ($I_{cl} \geq IREQ_{min}$) sin comprometer la movilidad ni la ergonomía.

De este modo, la prevención del estrés térmico en ambientes fríos debe entenderse como un elemento estructural de la gestión preventiva, imprescindible para garantizar la salud, el confort térmico y la eficiencia productiva en las actividades desarrolladas dentro del frío industrial.





Concepto de estrés térmico

2. Concepto de estrés térmico

El estrés térmico por frío se define como la carga fisiológica que soporta el organismo al verse sometido a ambientes de bajas temperaturas, en los que la pérdida de calor corporal supera a la producción interna de calor metabólico. Esta situación obliga al cuerpo a activar mecanismos de defensa que, en ausencia de medidas preventivas adecuadas, pueden comprometer la salud y el rendimiento del trabajador.

A diferencia del estrés térmico por calor, donde el riesgo principal es la incapacidad del organismo para disipar calor, en el estrés por frío el problema radica en la excesiva disipación de calor al entorno, lo que conduce a una reducción de la temperatura cutánea y, en casos graves, de la temperatura corporal central. Mientras que el calor provoca agotamiento, deshidratación y golpe de calor, el frío se asocia con hipotermia, congelaciones locales y pérdida de destreza física y mental.

La exposición de la persona trabajadora a ambientes de bajas temperaturas desencadena una serie de respuestas fisiológicas orientadas a mantener la homeostasis térmica y proteger la temperatura central del organismo.

Según los estudios realizados en el sector del frío industrial (Estudio Frío Industrial v1.2), la reacción inicial es la vasoconstricción periférica, mediante la cual se reduce el flujo sanguíneo en extremidades con el fin de minimizar las pérdidas de calor. Aunque este mecanismo permite conservar la temperatura corporal interna, conlleva efectos secundarios directos como el entumecimiento progresivo de manos y pies, acompañado de una notable pérdida de destreza manual y coordinación fina. Esta circunstancia incrementa el riesgo de accidentes durante la manipulación de cargas, maquinaria o herramientas.

Cuando la exposición es prolongada, el organismo responde con temblores y aumento del metabolismo, lo que implica un esfuerzo físico adicional que puede derivar en fatiga generalizada y reducción de la capacidad de reacción. A ello se suma una menor eficacia de movimientos y una coordinación motora limitada, lo que no solo afecta a la productividad, sino también a la seguridad en la ejecución de tareas.

En condiciones extremas el trabajador puede sufrir hipotermia generalizada o congelaciones localizadas en zonas especialmente vulnerables como manos, pies, nariz y orejas. Estos efectos pueden tener un impacto grave e irreversible si no se aplican medidas preventivas adecuadas.

En consecuencia, la respuesta fisiológica al frío debe considerarse un factor crítico en la evaluación de riesgos del sector, ya que influye de forma directa en la seguridad, la salud y la capacidad operativa de los trabajadores expuestos.

2.1. Valores de referencia y métodos de evaluación

La valoración del estrés térmico por frío no puede realizarse de manera subjetiva, sino que debe basarse en índices normalizados y en normas técnicas reconocidas, que permiten objetivar la relación entre las condiciones ambientales de trabajo, la actividad física realizada y el nivel de protección proporcionado por la vestimenta.

El índice de referencia fundamental es el IREQ (Insulation Required), establecido en la ISO 11079:2007. Este parámetro determina el aislamiento mínimo ($IREQ_{min}$) necesario para evitar el enfriamiento excesivo y el aislamiento neutral ($IREQ_{neutral}$) que asegura una sensación térmica de confort. El cálculo tiene en cuenta:

- Temperatura del aire (seca) y temperatura radiante media (estimada mediante el globo).
- Humedad relativa y velocidad del aire, factores que intensifican la pérdida de calor corporal.
- Nivel de metabolismo (M) generado por la actividad física del trabajador, expresado en vatios o met.
- Duración de la exposición, ya que el tiempo prolongado en frío agrava el riesgo.

La evaluación mediante IREQ consiste en comparar el aislamiento requerido con el aislamiento real de la ropa de trabajo (I_{cl}), expresado en clo o $m^2 \cdot K/W$. Si el valor de la vestimenta es inferior al requerido, se considera que existe riesgo de estrés por frío, lo que obliga a introducir mejoras en la ropa o a reducir los tiempos de exposición.

Otro índice utilizado es el WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Aunque fue diseñado principalmente para valorar el estrés térmico por calor, también puede servir como referencia complementaria en entornos fríos. No obstante, su interpretación en bajas temperaturas debe hacerse con cautela, pues el método tiende a infraestimar el riesgo por frío y debe usarse únicamente como indicador adicional.

Además de estos índices, existen diversas normas UNE-EN aplicables que complementan la evaluación del riesgo:

- La UNE-EN ISO 7730, que define parámetros de confort térmico y de insatisfacción térmica (PPD/PMV).
- La UNE-EN 511, que establece requisitos y métodos de ensayo para guantes de protección contra el frío, valorando tanto la conducción térmica como la resistencia al contacto con superficies frías.

Otras normas específicas para calzado, ropa de trabajo y equipos de protección individual que fijan los niveles mínimos de aislamiento y permeabilidad requeridos.

En definitiva, el estrés térmico por frío es un riesgo específico del sector del frío industrial, cuya valoración debe realizarse de forma objetiva y cuantitativa. Para ello resulta imprescindible apoyarse en índices como el IREQ y en la comparación sistemática entre el aislamiento requerido y el real de la ropa utilizada en cada puesto y zona de trabajo. Solo así es posible determinar la adecuación de las medidas preventivas y garantizar la seguridad, salud y rendimiento de los trabajadores expuestos.



Entorno de trabajo en el frío industrial

3. Entorno de trabajo en el frío industrial

3.1. Instalaciones



El sector del frío industrial constituye uno de los pilares estratégicos de la cadena agroalimentaria y logística moderna, ya que permite garantizar la conservación y la trazabilidad térmica de los productos perecederos, desde su origen hasta su destino final. Sin embargo, este mismo principio de control térmico que asegura la calidad y seguridad alimentaria genera, a su vez, un entorno de trabajo hostil para el factor humano, caracterizado por bajas temperaturas constantes, humedad elevada y circulación de aire frío.

Estas instalaciones —cámaras de conservación, antecámaras, túneles de congelación, muelles de carga, zonas de manipulado y almacenes refrigerados— están diseñadas con criterios industriales orientados al producto, no al confort térmico del trabajador. Los parámetros ambientales se ajustan para preservar los alimentos dentro de los rangos de temperatura exigidos por la normativa sanitaria (Reglamento (CE) 852/2004, Reglamento (UE) 2017/625 y RD 3484/2000), lo que implica que el entorno laboral se mantiene habitualmente entre $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, con humedades relativas elevadas y escasa radiación térmica.

En estas condiciones, el cuerpo humano experimenta una pérdida de calor progresiva que se intensifica por la conductividad térmica del aire frío, la velocidad de circulación en evaporadores y las corrientes de los muelles de expedición. Los trabajadores deben realizar tareas que implican esfuerzos físicos variables, manipulación de mercancías, conducción de carretillas o control de maquinaria

automatizada, todo ello bajo una exposición que puede ser continua o intermitente y que exige un nivel de adaptación fisiológica y organizativa elevado.

Desde el punto de vista de la ergonomía ambiental, este tipo de entorno se clasifica como “ambiente térmico severo por frío” según la ISO 11079, dado que las pérdidas de calor superan la capacidad de compensación del metabolismo basal del organismo. La exposición sostenida en el tiempo provoca efectos sobre el sistema nervioso, muscular, cardiovascular y respiratorio, comprometiendo la destreza manual, la velocidad de reacción y, en última instancia, la seguridad del trabajador.

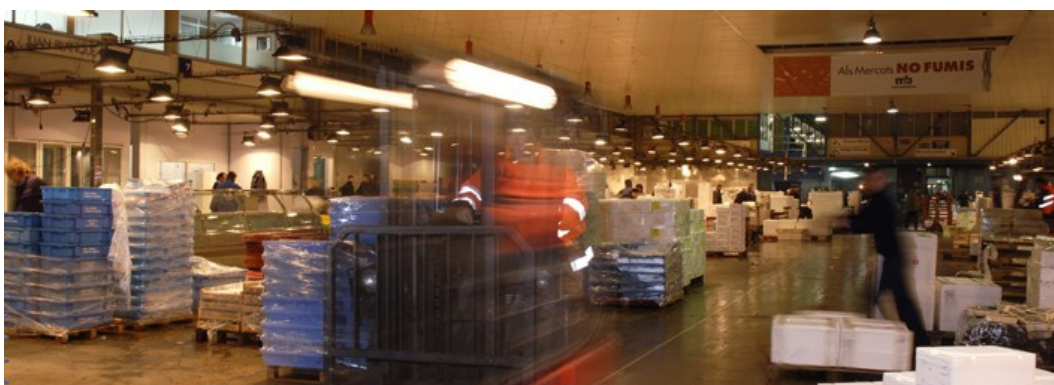
Además, el riesgo no es uniforme en todas las zonas del recinto. En los muelles y áreas de expedición, las variaciones bruscas de temperatura y las corrientes de aire generan choques térmicos repetidos. En las cámaras de conservación y congelación, el enfriamiento corporal es continuo, mientras que en las antecámaras y pasillos el riesgo se concentra en la transición constante entre microclimas.

La combinación de estas variables convierte al frío industrial en un entorno de exposición térmica multifactorial, donde confluyen riesgos físicos (temperatura, aire, humedad), ergonómicos (sobreesfuerzos, posturas forzadas, manipulación manual), químicos (refrigerantes como amoníaco o CO₂) y organizativos (turnos prolongados, trabajo nocturno, ausencia de pausas térmicas adecuadas).

Por todo ello, el sector requiere una gestión preventiva integral, en la que se contemple el frío no solo como una condición ambiental necesaria para el producto, sino como un riesgo laboral que afecta directamente al bienestar, salud y rendimiento de las personas que trabajan en este tipo de instalaciones.

Las áreas principales en las que se divide una instalación de frío industrial son:

- **Antecámaras:** son espacios intermedios de acceso a las cámaras principales, concebidos para amortiguar el gradiente térmico entre las zonas templadas del almacén y las cámaras de conservación o congelación. Normalmente mantienen temperaturas comprendidas entre 0 y +10 °C, con niveles de humedad relativa entre el 40 % y el 80 %. Su función es minimizar el choque térmico que se produciría al abrir directamente las puertas de las cámaras, evitando además pérdidas energéticas y condensación.



Aunque el riesgo térmico en las antecámaras se considera moderado, la circulación constante de aire frío, las corrientes producidas por los evaporadores y la frecuencia elevada de apertura de puertas automáticas generan una exposición prolongada a microclimas fríos. Esta combinación puede provocar enfriamiento progresivo del cuerpo, especialmente en extremidades, y estrés térmico leve o acumulativo cuando no se respetan las pausas en zonas templadas.

En el plano preventivo, las antecámaras deben estar diseñadas con puertas de apertura rápida, cortinas de aire o abrigos de muelle, y sistemas de cierre interbloqueo que impidan la apertura simultánea de ambas puertas. Su dimensionamiento es clave para garantizar la estabilidad térmica y la eficiencia energética, conforme a los requisitos del RD 486/1997 sobre condiciones de los lugares de trabajo y la norma UNE-EN 378 sobre instalaciones frigoríficas.

- **Cámaras de conservación:** constituyen el núcleo funcional del sistema frigorífico. Están destinadas al almacenamiento y manipulación de productos a temperaturas entre 0 °C y +8 °C, permitiendo conservar alimentos, productos farmacéuticos u otros materiales sensibles sin llegar a su congelación.

El personal que trabaja en estas zonas realiza actividades de manipulación de pallets, control de stock, preparación de pedidos, toma de muestras y limpieza, con tiempos de permanencia variables según el flujo de trabajo. El riesgo de estrés térmico por frío es moderado pero continuo, especialmente cuando la humedad relativa es alta —lo que intensifica la sensación térmica de frío— o cuando existe velocidad de aire significativa ($> 0,3$ m/s) procedente de ventiladores o evaporadores.

Las condiciones ambientales de estas cámaras pueden ocasionar disminución de la sensibilidad en las manos, rigidez muscular y reducción de la destreza, sobre todo cuando el aislamiento térmico de la ropa (I_{cl}) no alcanza el valor mínimo requerido ($IREQ_{min}$) según la ISO 11079. Por ello, se recomienda reforzar la ropa de trabajo con conjuntos de aislamiento medio (2–2,5 clo), controlar los tiempos de exposición y organizar pausas periódicas en zonas templadas.

Desde el punto de vista técnico, estas cámaras deben contar con sistemas de ventilación equilibrados, control de humedad y monitorización de temperatura y velocidad de aire, de acuerdo con la UNE-EN ISO 7726 (instrumentos de medida del ambiente térmico).



- **Cámaras de congelación:** representan el entorno térmico más severo del frío industrial. Mantienen temperaturas que pueden alcanzar los -25 °C o inferiores, con niveles de humedad relativamente bajos y corrientes de aire más intensas. Están destinadas al almacena-

miento prolongado de productos congelados, así como a operaciones de carga, descarga o verificación rápida.

El riesgo para el personal es muy elevado, dado que la exposición directa a temperaturas bajo cero y la velocidad del aire asociada a los sistemas de refrigeración aceleran la pérdida de calor corporal. En estas condiciones, el balance térmico del trabajador puede volverse negativo en pocos minutos, aumentando el riesgo de hipotermia generalizada o congelaciones locales (manos, pies, cara, orejas).

A ello se suma la conductividad térmica de los materiales manipulados (metales, envases, estructuras), que favorecen la pérdida de calor por contacto, y el uso de carretillas elevadoras, que introduce factores mecánicos adicionales (vibración, inactividad física relativa).

Por ello, el trabajo en congelación debe limitarse mediante tiempos de exposición definidos (DLE), uso obligatorio de EPI de alta protección térmica ($\geq 3,0$ clo), y protocolos de rotación y refugio térmico. Además, estas cámaras deben incorporar sistemas de seguridad interior (tiradores antipánico, alarmas térmicas, detectores de presencia y comunicación con el exterior), tal como establece la UNE-EN 378 y el RD 486/1997.

- **Muelles y zonas de expedición:** son áreas de tránsito y conexión entre el interior refrigerado y el exterior ambiental, lo que las convierte en zonas de choque térmico continuo. Las temperaturas en estas áreas pueden oscilar entre -1 °C y $+15$ °C, dependiendo del tipo de producto y de la apertura de puertas hacia el exterior.

El riesgo térmico se ve agravado por la presencia de corrientes de aire intensas ($0,5$ – $0,8$ m/s), la intermitencia térmica al alternar entre interior y exterior, y la actividad física variable asociada al uso de carretillas, transpaletas y carga manual. El trabajador experimenta un ciclo térmico repetido de enfriamiento y recalentamiento, que altera el equilibrio térmico corporal y puede provocar fatiga por frío, molestias respiratorias y rigidez muscular.



Desde el punto de vista ergonómico y preventivo, las zonas de muelle deben contar con:

- Abrigos y sellos de muelle (dock shelters) para limitar la entrada de aire exterior.
- Puertas automáticas de alta velocidad con control de apertura por sensor o mando remoto.
- Cortinas de aire ajustadas y deflectores antiviento para reducir la velocidad del aire incidente.
- Suelo antideslizante con drenaje y calefacción por resistencia en zonas de condensación o hielo.

- Señalización térmica y alumbrado suficiente para prevenir accidentes en maniobras.
- La gestión de estas áreas requiere una planificación precisa de los tiempos de carga y descarga, evitando esperas prolongadas con el motor de carretillas detenido y asegurando la presencia de refugios térmicos cercanos para pausas breves.

Las mediciones realizadas en distintas empresas del sector del frío industrial y logístico evidencian una gran variabilidad térmica y microclimática entre las zonas de trabajo. Esta diversidad responde tanto al tipo de producto almacenado como a la dinámica operativa de cada instalación (frecuencia de aperturas, carga térmica, ventilación, tipo de aislamiento, etc.).

En general, se identifican los siguientes rangos:

Temperatura del aire (T_a): Los valores medidos varían entre 5,4 °C en cámaras de congelación (en tareas breves o zonas de tránsito rápido) y hasta 22–23 °C en áreas de muelles o de producción, donde el intercambio térmico con el exterior y la maquinaria genera un ambiente más templado.

Este rango amplio implica que el trabajador puede experimentar choques térmicos significativos al pasar de una zona a otra, especialmente en operaciones logísticas con alta rotación. De acuerdo con la ISO 11079, la diferencia térmica superior a 10 °C entre zonas sucesivas requiere medidas de adaptación progresiva o refugio térmico intermedio, ya que afecta directamente al equilibrio térmico corporal y al rendimiento físico.

Humedad relativa (HR): Se han registrado valores comprendidos entre el 28–40 % en pasillos, cámaras y zonas de expedición, llegando a alcanzar un máximo del 63 % en áreas de producción o manipulado, donde la actividad humana y los procesos de limpieza incrementan la humedad ambiental.

En ambientes fríos, una humedad elevada aumenta la sensación térmica de frío debido a la mayor conductividad del aire húmedo y a la posible humectación de las capas internas de la ropa, reduciendo su aislamiento (I_{cl} efectivo). Según la ISO 9920, una prenda mojada o saturada puede perder hasta un 30–50 % de su capacidad aislante, por lo que el control de la HR es un elemento esencial para la prevención del estrés térmico.

Velocidad del aire (v_a): En la mayoría de zonas de conservación y pasillos la velocidad del aire es baja (<0,2 m/s), compatible con condiciones de estabilidad térmica. No obstante, en muelles y zonas de expedición se alcanzan velocidades entre 0,7 y 0,8 m/s, provocadas por las corrientes generadas en puertas abiertas, ventiladores de evaporadores y movimientos de carretillas.

Este incremento de la velocidad del aire multiplica la pérdida de calor por convección, elevando el valor del aislamiento requerido (IREQ) y reduciendo el tiempo máximo de exposición segura (DLE). Por ejemplo, un aumento de la velocidad del aire de 0,2 a 0,8 m/s puede requerir un incremento del aislamiento de ropa de 0,3 a 0,5 clo adicionales, o bien una reducción del tiempo de permanencia en un 30–40 %.

La interacción de estos tres parámetros —temperatura, humedad y velocidad del aire— determina el microclima operativo al que se enfrenta el trabajador. La combinación de una temperatura baja, humedad elevada y corriente de aire intensa acelera el enfriamiento corporal y aumenta el riesgo de hipotermia localizada (manos, pies, rostro), así como la fatiga y el descenso del rendimiento psicomotor.

Por ello, las mediciones ambientales deben realizarse con instrumentación calibrada según la UNE-EN ISO 7726, garantizando que se obtengan valores representativos de la zona respiratoria

del trabajador (1,1–1,5 m de altura) y en momentos de máxima actividad. Estos registros constituyen la base técnica del cálculo del aislamiento requerido (IREQ), elemento clave para determinar la idoneidad de la ropa de protección térmica y los límites de exposición en cada puesto.

3.2. Puestos de trabajo

El sector del frío industrial y la logística frigorífica reúne una gran diversidad de tareas que requieren la presencia de trabajadores en cámaras de conservación, congelación, antecámaras y muelles de expedición. Estos puestos están vinculados a diferentes niveles de exigencia física y tiempo de exposición, lo que determina el grado de riesgo de estrés térmico por frío.

- **Mozo / Mozo de almacén / Mozo de carga-descarga:** El mozo de almacén es el trabajador encargado de la recepción, manipulación y ubicación de mercancías dentro de las instalaciones frigoríficas. Sus funciones incluyen la clasificación y ordenación de productos en pallets o estanterías, la preparación de pedidos, así como la carga y descarga manual de bultos. En muchos convenios colectivos se establece que este perfil también realiza tareas auxiliares, como el control de stock, el desplazamiento de mercancías con transpaletas manuales o eléctricas y labores de limpieza en la zona de trabajo. La naturaleza de su labor implica movimientos repetitivos en ambientes fríos y una presencia prolongada en cámaras y pasillos, lo que incrementa tanto la carga física como la pérdida de calor corporal.
- **Carretilleros:** El carretillero u operador de carretilla se dedica al manejo de equipos motorizados de elevación y transporte (carretillas elevadoras, transpaletas eléctricas, apiladores). Su función es trasladar mercancías entre zonas de conservación, congelación, muelles de carga y vehículos de transporte, asegurando la correcta disposición de pallets en estanterías o en plataformas de expedición. A diferencia del mozo de almacén, la actividad física directa es menor, pero el puesto exige altos niveles de atención y coordinación, especialmente en entornos fríos donde el entumecimiento de las manos y la disminución de reflejos pueden aumentar el riesgo de accidente. Además, este colectivo se enfrenta de manera continua a choques térmicos por el tránsito entre zonas con temperaturas diferentes.
- **Operarios de manipulado y producción:** Este perfil realiza tareas relacionadas con el envasado, etiquetado, empaquetado, clasificación y control de calidad de los productos en áreas refrigeradas. A menudo, el trabajo se desarrolla en líneas de producción estáticas, lo que implica movimientos repetitivos de baja intensidad en ambientes con temperaturas moderadas pero constantes (0–10 °C) y humedad elevada. Estas condiciones favorecen la aparición de fatiga por frío, disminución de la destreza manual y trastornos musculoesqueléticos, derivados de la combinación entre baja temperatura y la repetición continua de gestos.
- **Personal de muelles y expedición:** Los trabajadores destinados a muelles y áreas de expedición son responsables de la carga y descarga de camiones, la colocación de pallets en áreas de tránsito y la supervisión de mercancías en el proceso de salida o recepción. Su exposición se caracteriza por los choques térmicos frecuentes, ya que alternan entre la temperatura interior de las cámaras y el ambiente exterior. Además, se ven afectados por corrientes de aire más intensas en los muelles, lo que incrementa las pérdidas de calor corporal. En situaciones de espera o carga prolongada, la actividad física insuficiente puede agravar los efectos del frío y generar riesgo de hipotermia localizada.
- **Técnicos de mantenimiento:** El personal técnico de mantenimiento desarrolla labores de revisión, ajuste y reparación de equipos frigoríficos e instalaciones auxiliares. Esto exige el acceso puntual a cámaras de conservación o congelación, en ocasiones de manera está-

tica y sin gran esfuerzo físico, lo que limita la generación interna de calor corporal. Aunque la exposición suele ser breve, la falta de aclimatación y la intensidad de las condiciones (temperaturas inferiores a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en cámaras de congelación) hacen que este colectivo esté especialmente expuesto a congelaciones locales en extremidades y rostro, si no dispone de una adecuada protección térmica.

3.3. Riesgo de estrés térmico

El estrés térmico por frío se origina cuando el equilibrio térmico del cuerpo se altera debido a que la pérdida de calor hacia el entorno supera la capacidad del metabolismo para compensarla, dando lugar a un descenso progresivo de la temperatura corporal. Esta situación es característica de las actividades desarrolladas en el frío industrial, donde las tareas se ejecutan de forma continua o intermitente en ambientes de conservación (-1 a $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$), congelación (-18 a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), antecámaras y zonas de expedición, sometidas a bajas temperaturas, corrientes de aire intensas y humedad elevada, condiciones que aceleran la disipación térmica por convección y evaporación.

Desde el punto de vista fisiológico, el riesgo por frío no debe entenderse como un episodio agudo, sino como un proceso acumulativo condicionado por la duración de la exposición, las características del entorno y la capacidad individual de termorregulación. El equilibrio térmico depende de tres grupos de variables:

- Factores ambientales: temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y conductividad de las superficies con las que se contacta.
- Factores personales: masa corporal, composición grasa, edad, sexo, aclimatación, estado nutricional y calidad del aislamiento proporcionado por la vestimenta.
- Factores organizativos: tiempo de permanencia, ritmo de trabajo, pausas de recuperación térmica y alternancia entre zonas frías y templadas.

Frente a la exposición al frío, el organismo inicia respuestas fisiológicas automáticas dirigidas a mantener la temperatura interna en torno a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Vasoconstricción cutánea: se reduce el flujo sanguíneo periférico para conservar el calor central, lo que conlleva entumecimiento, rigidez articular y pérdida de destreza, aumentando el riesgo de accidentes.
- Aumento del metabolismo basal: el cuerpo incrementa la oxidación de sustratos energéticos para generar calor, elevando el consumo de oxígeno y la carga cardiovascular, lo que puede agravar alteraciones circulatorias o cardíacas previas (ISO 12894:2001).
- Temblores musculares involuntarios: elevan la producción térmica de forma significativa, aunque provocan fatiga rápida y reducción de la coordinación motora fina.

Cuando el organismo no logra compensar la pérdida de calor, la regulación térmica se colapsa y se instaura un desequilibrio fisiológico progresivo, con descenso de la temperatura central ($<35\text{ }^{\circ}\text{C}$), bradicardia, hipotensión, disminución del nivel de alerta y riesgo de hipotermia severa ($<32\text{ }^{\circ}\text{C}$), situaciones potencialmente mortales si no se interrumpe la exposición.

Los efectos derivados del frío prolongado abarcan desde alteraciones leves y reversibles hasta lesiones graves de tejidos y disfunciones orgánicas. Entre las manifestaciones más relevantes se incluyen:

- Hipotermia generalizada, con descenso de la temperatura corporal central.
- Lesiones localizadas por frío, como congelaciones, eritema pernio o síndrome de Raynaud.
- Trastornos musculoesqueléticos por disminución de la elasticidad muscular y rigidez articular, que aumentan el riesgo de contracturas, lumbalgias y tendinopatías (ISO 15743:2008; NIOSH, 2015).
- Deterioro cognitivo y fatiga térmica, con disminución de la concentración y lentitud de reflejos, especialmente críticos en tareas que requieren precisión o control continuo.

Desde la perspectiva preventiva, la UNE-EN ISO 11079 define el procedimiento para calcular el aislamiento requerido (IREQ) de la indumentaria y determinar los tiempos límite de exposición (DLE). Estas herramientas permiten evaluar si el aislamiento real del conjunto de ropa (I_{cl}) mantiene el equilibrio térmico o si deben aplicarse medidas adicionales. A su vez, la ISO 12894 y la ISO 15743 establecen directrices de vigilancia médica y control fisiológico, recomendando la evaluación previa de la aptitud del personal y el seguimiento de parámetros como la temperatura cutánea, la frecuencia cardíaca o la tensión arterial.

La vigilancia sanitaria debe incluir la identificación de signos de intolerancia al frío, tales como episodios repetidos de palidez o dolor distal, antecedentes de congelaciones o patologías vasculares periféricas, que suponen una mayor susceptibilidad y requieren medidas personalizadas de protección.

3.3.1. Efectos del estrés térmico por frío

Los efectos fisiológicos y clínicos del frío pueden clasificarse según su severidad y evolución temporal:

- Respuestas inmediatas: Son los mecanismos iniciales y reversibles de adaptación. La vasoconstricción periférica y el descenso de la temperatura cutánea reducen la perfusión sanguínea en extremidades, con pérdida de sensibilidad y destreza manual en pocos minutos. Estas respuestas, aunque reversibles, afectan la precisión y seguridad en operaciones de manipulación, incrementando la probabilidad de errores y accidentes.
- Alteraciones funcionales intermedias: En exposiciones prolongadas se incrementa el metabolismo muscular y aparecen temblores involuntarios que generan calor a costa de un notable gasto energético. Esto ocasiona fatiga física y mental, alteración de la coordinación y disminución de la capacidad de reacción. En esta fase el trabajador puede presentar somnolencia, rigidez y lentitud psicomotora, indicadores claros de sobrecarga térmica moderada.
- Efectos graves por exposición prolongada: Cuando la temperatura corporal desciende por debajo de los 35 °C, se produce hipotermia leve o moderada. La persistencia de la exposición puede derivar en hipotermia severa (<32 °C) y congelaciones localizadas en manos, pies, nariz y mejillas. Estas lesiones se agravan ante corrientes de aire elevadas, humedad o ropa inadecuada, pudiendo comprometer la función neuromuscular y causar pérdida de conciencia en pocos minutos.

3.3.2. Factores determinantes del riesgo térmico

El nivel de riesgo no depende únicamente de la temperatura ambiente, sino de la interacción entre factores físicos, fisiológicos y organizativos, que modulan la velocidad de pérdida de calor y la capa-

cidad de compensación metabólica. En el contexto del frío industrial, estos factores se ven amplificados por las condiciones extremas y la alternancia entre espacios fríos y templados.

- Temperatura del aire (T_a): Cuanto mayor es el gradiente térmico entre la piel y el entorno, más rápida es la pérdida de calor. En cámaras de congelación (-18 a -25 °C) el cuerpo puede perder calor entre tres y cinco veces más rápido que en un ambiente de 0 °C.
- Velocidad del aire (v_a): El flujo de aire intensifica el intercambio térmico por convección. En zonas con evaporadores o puertas abiertas, velocidades superiores a $0,5$ – $0,8$ m/s pueden aumentar el aislamiento requerido (IREQ) en un 20 – 30 %.
- Humedad relativa (HR): El agua reduce drásticamente el poder aislante de las prendas. Si la ropa se humedece por condensación o sudor, la pérdida de capacidad térmica puede superar el 50 % (ISO 9920), incrementando el riesgo de enfriamiento rápido.
- Duración de la exposición: La permanencia prolongada incrementa el riesgo de hipotermia acumulativa. La norma ISO 11079 define los DLE (Duration Limited Exposure) para limitar la exposición en función del aislamiento real disponible (I_{cl}).
- Nivel de actividad metabólica (M): El calor endógeno generado por la actividad física compensa parcialmente la pérdida térmica. Trabajos de baja carga metabólica —como conducción de carretillas o control de procesos— son más vulnerables que los de esfuerzo moderado.
- Aislamiento de la ropa (I_{cl}): El aislamiento del conjunto de vestimenta, expresado en clo o $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$, es el factor de control más relevante. Si el aislamiento es inferior al requerido (IREQ_min), el riesgo de desequilibrio térmico se incrementa exponencialmente. Las normas UNE-EN 342 y UNE-EN 14058 establecen los requisitos de protección frente al frío intenso y ambientes frescos.

3.3.3. Enfoque preventivo integrado

La identificación y control de estos factores resulta esencial para una evaluación objetiva y dinámica del riesgo térmico, permitiendo diseñar estrategias de prevención basadas en:

- Ajuste de la temperatura y velocidad del aire mediante ingeniería.
- Planificación de tiempos máximos de exposición y pausas térmicas.
- Selección de ropa de protección con valores de aislamiento adecuados al entorno.
- Formación del personal en reconocimiento de síntomas y actuación ante emergencias.

El cumplimiento de estos principios, junto con la aplicación de los métodos normalizados de cálculo (IREQ, DLE) y la monitorización periódica de las condiciones ambientales (UNE-EN ISO 7726), constituye la base de un sistema preventivo eficaz en el sector del frío industrial, garantizando la seguridad, el bienestar y la capacidad operativa de los trabajadores expuestos.

3.4. Puestos con mayor exposición al riesgo

Dentro del sector del frío industrial existen determinados perfiles profesionales que, por la naturaleza de sus funciones, presentan una exposición más intensa al riesgo térmico por frío. Estos son los más representativos:

- **Mozos de almacén:** Constituyen el colectivo más numeroso y vulnerable. Sus funciones de recepción, manipulación, preparación de pedidos y almacenamiento de mercancías les obligan a permanecer durante largos periodos en el interior de cámaras de conservación y congelación. La permanencia prolongada en ambientes de bajas temperaturas, unida a la manipulación repetitiva de cargas, incrementa el riesgo de fatiga, entumecimiento de extremidades y pérdida de destreza manual, lo que repercute tanto en la salud como en la seguridad operativa.
- **Carretilleros:** Encargados del traslado de pallets y mercancías mediante carretillas o transpaletas eléctricas, alternan de forma continua entre zonas de distinta temperatura (muelles, pasillos, cámaras). Aunque su esfuerzo físico es menor que el de los mozos, el tránsito constante entre ambientes fríos y templados genera un efecto de choque térmico repetido, al tiempo que la exposición al aire en movimiento y la disminución de sensibilidad en las manos afectan directamente a la conducción segura de la maquinaria.
- **Operarios de manipulado:** Desarrollan su trabajo en áreas de producción y envasado, caracterizadas por temperaturas de refrigeración (0–10 °C), humedad elevada y tareas repetitivas de carácter estático. La falta de movimiento corporal suficiente impide generar calor interno, lo que favorece el enfriamiento progresivo del organismo. Este colectivo es especialmente vulnerable a trastornos musculoesqueléticos, pérdida de coordinación fina y fatiga generalizada por frío.
- **Personal de muelles y expedición:** Su función principal es la carga y descarga de mercancías en vehículos, actuando como nexo entre el interior de las cámaras y el exterior. Son trabajadores sometidos a choques térmicos frecuentes y a la acción de corrientes de aire intensas en muelles, lo que acelera la pérdida de calor corporal. El riesgo se incrementa en situaciones de espera sin actividad física, donde la ausencia de movimiento limita la generación de calor metabólico, facilitando el desarrollo de hipotermia localizada.
- **Técnicos de mantenimiento:** Acceden de manera puntual a cámaras de conservación y, especialmente, de congelación para revisiones y reparaciones de equipos. Aunque la exposición es generalmente breve, la actividad es en su mayoría estática y con baja carga metabólica, lo que reduce la capacidad del organismo para compensar las pérdidas de calor. En condiciones extremas, este colectivo presenta un riesgo elevado de congelaciones locales en manos, pies, nariz y orejas, si no cuentan con ropa de protección térmica de alto aislamiento.



4

Evaluación del estrés térmico por frío

4. Evaluación del estrés térmico por frío

La evaluación del riesgo térmico por exposición al frío en entornos industriales debe basarse en criterios objetivos, cuantificables y conforme a la normativa internacional de ergonomía térmica, tomando como referencia principal la Norma ISO 11079:2007 — “Ergonomía del ambiente térmico. Determinación e interpretación del requerimiento de aislamiento de la ropa (IREQ) y estimación de los límites de exposición al frío”.

Dicha norma establece el marco metodológico para valorar el equilibrio térmico entre el trabajador y su entorno, definiendo los niveles de aislamiento necesarios de la vestimenta y los tiempos máximos de exposición (DLE) que permiten prevenir la aparición de desequilibrios térmicos y sus efectos fisiológicos.

El proceso de evaluación requiere una aproximación integrada y sistemática, estructurada en tres componentes fundamentales:

- Medición de los parámetros ambientales, conforme a la UNE-EN ISO 7726, que define los métodos y equipos para registrar temperatura del aire, humedad, velocidad del aire y temperatura radiante.
- Determinación del nivel de actividad metabólica, según la ISO 8996, que permite estimar el calor producido por el esfuerzo físico y su influencia en el balance térmico corporal.
- Cálculo del aislamiento requerido (IREQ) y comparación con el aislamiento real de la ropa de trabajo (I_{cl}), de acuerdo con la ISO 9920, para verificar si el conjunto de prendas proporciona la protección térmica necesaria frente a las condiciones reales de exposición.
- Este enfoque permite establecer, con base científica y técnica, los niveles de riesgo y las medidas preventivas específicas que deben adoptarse en el sector del frío industrial, garantizando una gestión eficaz de la seguridad térmica y la salud del trabajador.

4.1. Medición de parámetros ambientales

La evaluación del estrés térmico por frío requiere la medición precisa de las variables ambientales que determinan el balance térmico entre el cuerpo humano y el entorno. Estas magnitudes, recogidas de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 7726:2002 (Instrumentos para la medida de las magnitudes físicas del ambiente térmico), constituyen la base para el cálculo del aislamiento requerido (IREQ) y los tiempos de exposición limitados (DLE) según la ISO 11079:2007.

Las condiciones ambientales deben registrarse en cada puesto de trabajo representativo o zona de exposición —cámaras de congelación, cámaras de conservación, antecámaras, pasillos y muelles de carga—, a una altura comprendida entre 1,1 y 1,5 metros (zona respiratoria del trabajador) y en momentos de actividad normal, evitando mediciones durante pausas o períodos de inactividad.

Las principales variables a medir son:

Temperatura del aire (T_a o temperatura seca): Representa el nivel térmico básico del ambiente y se mide con termómetro de mercurio, alcohol o sonda digital de precisión. Es el parámetro de referencia principal para caracterizar la exposición térmica y se utiliza directamente en los cálculos de IREQ.

- Unidades: °C
- Rango operativo típico: de -25 °C en cámaras de congelación hasta +20 °C en zonas templadas.
- Relevancia: define el gradiente térmico entre la piel y el ambiente, influyendo en la pérdida de calor por convección y conducción.

Temperatura radiante media (T_g): Se determina mediante un termómetro de globo negro (esfera metálica de 150 mm de diámetro pintada de negro mate), que integra los efectos combinados de la temperatura del aire y la radiación térmica de las superficies frías circundantes (paredes, suelo, evaporadores).

- Unidades: °C
- Importancia: en ambientes de frío industrial, la T_g suele ser inferior a la T_a debido a las superficies frías, lo que incrementa las pérdidas de calor por radiación neta.
- Aplicación: esencial para estimar el gradiente de temperatura radiante que influye en el confort y la sensación térmica global.

Temperatura de bulbo húmedo (T_w): Se obtiene mediante psicrómetro o sensor digital con mecha humedecida y ventilación controlada. Representa la capacidad del aire para absorber humedad y se relaciona directamente con la humedad relativa (HR).

- Unidades: °C
- Aplicación: permite valorar el efecto combinado de la temperatura y la evaporación del sudor sobre la disipación de calor corporal.

Humedad relativa (HR): Se calcula a partir de las lecturas de T_w y T_a , o directamente mediante higrómetro digital de precisión, expresada como porcentaje de saturación del aire.

- Unidades: %
- Relevancia: la humedad elevada reduce la eficacia del aislamiento de la ropa y aumenta la sensación térmica de frío. En cámaras de conservación, los valores suelen situarse entre el 60 y el 90 %, mientras que en cámaras de congelación pueden ser menores (<40 %) por el efecto desecante del aire.

Velocidad del aire (v_a): Medida con anemómetro de hilo caliente o de paletas, es el parámetro más crítico en la pérdida de calor por convección forzada.

- Unidades: m/s
- Valores orientativos:
 - Zonas interiores (pasillos, conservación): <0,2 m/s
 - Muelles y expedición: 0,5–0,8 m/s
- Importancia: duplicar la velocidad del aire puede aumentar el aislamiento necesario en un 30–40 %, según los criterios de la ISO 11079.

4.1.1. Procedimiento de toma de datos

Las mediciones deben realizarse en condiciones representativas de la jornada laboral y registrarse en una ficha ambiental que incluya:

- Fecha, hora y ubicación exacta.
- Tarea observada y nivel de actividad del trabajador (M , en W/m^2).
- Tipo de ropa de protección empleada y su valor de aislamiento (I_{cl} , en clo).
- Valores medios y extremos de cada variable medida.

Se recomienda realizar al menos tres mediciones consecutivas por punto y calcular el promedio para minimizar errores instrumentales. En cámaras con oscilaciones térmicas, las mediciones deben repetirse en distintos momentos de la jornada.

Los datos obtenidos se utilizarán posteriormente para el cálculo del aislamiento requerido ($IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$) y la determinación del margen térmico ($I_{cl} - IREQ_{min}$), lo que permite clasificar el nivel de riesgo y planificar las medidas preventivas correspondientes (rotaciones, EPI, pausas térmicas).



4.2. Nivel de actividad metabólica

El segundo paso en la evaluación del estrés térmico por frío consiste en cuantificar la tasa metabólica del trabajador (M), que representa la energía generada internamente por el organismo durante la actividad laboral. Este parámetro, expresado en vatios por metro cuadrado (W/m^2) o en met (1 met = $58 W/m^2$), es determinante para establecer el equilibrio térmico entre la producción de calor corporal y la pérdida de calor hacia el entorno. Se expresa en W/m^2 o en met (1 met = $58 W/m^2$).

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8996:2022 – Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica, el metabolismo puede determinarse de tres maneras:

1. Método directo, mediante medición del consumo de oxígeno o la frecuencia cardíaca.
2. Método indirecto, utilizando tablas de referencia basadas en el tipo de actividad, postura y carga física.
3. Estimación ergonómica, a partir de la observación del puesto, herramientas utilizadas y ritmo de trabajo.

En el contexto del frío industrial, la estimación ergonómica y las tablas normalizadas constituyen el método más habitual, dada la dificultad de aplicar mediciones fisiológicas en entornos frigoríficos.

Valores de referencia orientativos por tipo de puesto			
Puesto de trabajo	Descripción funcional	Tasa metabólica (W/m²)	Met (aprox.)
<i>Mozo de almacén</i>	Manipulación manual de cajas, palets o pescado; desplazamientos frecuentes; esfuerzo físico moderado.	180–220	3,1–3,8
<i>Carretillero</i>	Conducción continua de carretilla elevadora o transpaleta; esfuerzo físico bajo; trabajo sedentario con movimientos de control.	120–150	2,1–2,6
<i>Operario de manipulado</i>	Trabajo en línea estática o semiautomática, tareas repetitivas de envasado o etiquetado.	100–130	1,7–2,2
<i>Personal de muelles / expedición</i>	Carga y descarga manual de productos congelados o refrigerados; alta movilidad; esfuerzo físico intenso y discontinuo.	200–250	3,4–4,3
<i>Técnico de mantenimiento</i>	Intervenciones puntuales sobre maquinaria, trabajo estático y preciso con pausas intermitentes.	90–120	1,5–2,0

Interpretación del metabolismo en relación al riesgo térmico

El valor de la tasa metabólica define la capacidad del trabajador para compensar las pérdidas de calor. Cuanto mayor sea el metabolismo, mayor será la generación de calor interno, y por tanto menor el aislamiento de ropa necesario (IREQ) para mantener el equilibrio térmico.

Por el contrario, los puestos de baja carga metabólica (como los de carretillero o técnico de mantenimiento) son los más vulnerables al frío, ya que su producción de calor corporal es insuficiente para compensar la pérdida energética por conducción, convección y radiación.

La norma ISO 11079 integra el valor de M junto con las variables ambientales (T_a , T_g , HR, v_a) para calcular el IREQmin (aislamiento mínimo requerido) y el IREQneutral (aislamiento neutro o de confort térmico), así como para estimar los tiempos máximos de exposición (DLE).

En la práctica, se recomienda clasificar los niveles de metabolismo de la siguiente forma:

Categoría de actividad	Rango típico (W/m²)	Ejemplos en el frío industrial
Ligera	100–150	Carretillero, técnico de mantenimiento
Moderada	150–220	Mozo de almacén, operario de manipulado
Intensa	>220	Personal de muelles, carga manual, limpieza industrial

Recomendaciones de aplicación

- Registrar el metabolismo estimado de cada puesto en la ficha de medición ambiental para su posterior inclusión en el cálculo del IREQ.
- En tareas variables (por ejemplo, mozo que alterna manipulado y carretilla), utilizar el valor medio ponderado según la duración de cada actividad.
- Revisar las estimaciones periódicamente cuando cambien los métodos de trabajo, la organización o la maquinaria, ya que ello modifica la carga metabólica.
- Validar los valores mediante observación ergonómica o medición fisiológica complementaria (frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno) en puestos críticos o con sospecha de sobreexposición.

4.3. Cálculo del aislamiento requerido (IREQ)

El IREQ (Insulation Required) constituye el parámetro central en la evaluación del estrés térmico por frío, al representar el aislamiento térmico de la ropa necesario para mantener el equilibrio térmico del cuerpo humano frente a las condiciones ambientales existentes.

Este parámetro se expresa en unidades de $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ o, de forma práctica, en clo, siendo

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}.$$

La norma ISO 11079:2007 define dos valores fundamentales del IREQ:

- IREQmin (aislamiento mínimo requerido): corresponde al aislamiento que permite prevenir un enfriamiento corporal excesivo. En este nivel, el trabajador puede mantener la temperatura corporal sin riesgo fisiológico, aunque con posible sensación de frío.
- IREQneutral (aislamiento neutro o de confort): representa el aislamiento necesario para mantener la neutralidad térmica, es decir, el equilibrio entre la producción de calor metabólico y las pérdidas hacia el entorno, sin sensación de discomfort térmico.

Fórmula general del balance térmico

El cálculo del IREQ se basa en el balance energético entre el calor producido por el metabolismo (M) y las pérdidas térmicas por radiación (R), convección (C), evaporación (E) y respiración (Re).

El modelo básico se expresa mediante la ecuación de balance térmico:

$$M - W = E_{\text{res}} + C_{\text{res}} + E + K + R + C + S$$

donde:

M = tasa metabólica (W/m^2)

W = trabajo mecánico externo (habitualmente despreciable en tareas manuales)

$C_{\text{res}} - E_{\text{res}}$ = son los términos de calor sensible y latente respectivamente debido a la diferencia de temperatura y humedad del aire inspirado y exhalado

E = pérdida de calor por evaporación del sudor (W/m^2)

K = es el calor intercambiado entre el cuerpo y superficies en contacto con él (también es despreciable su valor frente a los otros términos y se considera asumida su influencia en el balance a través de los términos C y R)

R = pérdida de calor por radiación (W/m²)

C = pérdida de calor por convección (W/m²)

S = el calor acumulado por el organismo, cuyo valor permite conocer tiempos máximo de permanencia en un ambiente determinado.

A partir de este balance, el aislamiento requerido se determina según la expresión normalizada:

$$\text{IREQ} = (t_{sk} - t_{cl}) / M - W - C_{res} - E_{res} - E_{tsv}$$

donde:

T_{sk} = temperatura media de la piel (≈ 33 °C en condiciones normales)

T_{cl} = Temperatura de la ropa

M = tasa metabólica (W/m²)

W = trabajo mecánico externo (habitualmente despreciable en tareas manuales)

C_{res}-E_{res}= son los términos de calor sensible y latente respectivamente debido a la diferencia de temperatura y humedad del aire inspirado y exhalado

T_{sv} = es el calor cedido por evaporación del sudor.

En la práctica, el cálculo se realiza mediante programas de simulación o plantillas informáticas que aplican los algoritmos de la ISO 11079, integrando todas las variables medidas:

- Temperatura seca del aire (Ta)
- Temperatura de globo (Tg)
- Humedad relativa (HR)
- Velocidad del aire (va)
- Tasa metabólica (M)
- Duración de la exposición (t)

Los valores típicos de IREQ en entornos de frío industrial suelen situarse entre 0,20 y 0,50 m²•K/W (≈1,3–3,2 clo), dependiendo de la severidad del ambiente y la carga metabólica.

Por ejemplo:

- Cámara de conservación (0–5 °C, M = 200 W/m²): IREQ_{neutral} ≈ 0,30 m²•K/W
- Cámara de congelación (–18 °C, M = 200 W/m²): IREQ_{neutral} ≈ 0,45 m²•K/W

Relación con el tiempo limitado de exposición (DLE)

Cuando el aislamiento real de la ropa (I_{cl}) es inferior al requerido (IREQ_{min}), la norma ISO 11079 permite calcular el tiempo máximo de exposición sin riesgo, denominado DLE (Duration Limited Exposure).

Este valor expresa el período durante el cual el trabajador puede permanecer en el ambiente frío sin que la temperatura corporal descienda por debajo de los límites fisiológicos admisibles.

$$\text{DLE} = f(\text{IREQ} - I_{cl}, M, T_a, v_a)$$

En términos operativos, si $I_{cl} < IREQ_{min}$, el DLE disminuye de manera exponencial, debiendo programarse pausas térmicas en áreas templadas para la recuperación del calor corporal.

Procedimiento de aplicación

- Registrar las variables ambientales (T_a , T_g , T_w , HR, v_a).
- Estimar la tasa metabólica (M) del puesto de trabajo.
- Introducir los datos en la plantilla o software ISO 11079.
- Obtener valores de $IREQ_{min}$, $IREQ_{neutral}$ y DLE.
- Comparar con el aislamiento real de la ropa utilizada (I_{cl}) medido o estimado según UNE-EN ISO 9920.
- Determinar el margen térmico ($I_{cl} - IREQ_{min}$) para clasificar el nivel de riesgo:
 - Margen positivo → exposición segura.
 - Margen nulo o negativo → riesgo térmico, aplicar medidas correctoras.

4.4. Comparación con el aislamiento real de la ropa (I_{cl})

Una vez determinado el valor del IREQ (aislamiento térmico requerido), el siguiente paso es compararlo con el aislamiento real de la ropa de trabajo utilizada por los trabajadores (I_{cl}). Esta comparación es la que permite valorar si el vestuario disponible proporciona la protección térmica adecuada o si existe un riesgo de enfriamiento corporal durante la jornada.

El aislamiento térmico de la ropa (I_{cl}) se define como la resistencia al paso del calor desde la piel hacia el ambiente, expresada igualmente en $m^2 \cdot K/W$ o en clo. Se calcula considerando las características de los tejidos, su espesor, la cantidad de aire atrapado entre las capas y la superficie corporal cubierta.

El valor de I_{cl} puede obtenerse de dos maneras:

1. Determinación experimental en laboratorio, conforme a la norma UNE-EN ISO 9920:2010 Ergonomía del ambiente térmico. Estimación del aislamiento térmico y de la resistencia a la evaporación de la ropa, que establece procedimientos de ensayo con maniqués térmicos o cámaras climáticas controladas. Este método proporciona los valores más precisos, pero requiere equipamiento especializado y suele reservarse a fabricantes o laboratorios de ensayo acreditados.
2. Estimación mediante tablas de referencia normalizadas, que asignan valores de aislamiento a prendas individuales o conjuntos típicos de trabajo. Estas tablas, recogidas en la ISO 9920, permiten realizar una estimación ergonómica razonable para la evaluación en campo, combinando los valores de cada prenda según el conjunto real utilizado.

Interpretación:

- Si $I_{cl} \geq IREQ_{neutral}$: riesgo bajo, condiciones de confort térmico aceptables.
- Si $IREQ_{min} \leq I_{cl} < IREQ_{neutral}$: existe riesgo moderado, se recomienda limitar el tiempo de exposición.
- Si $I_{cl} < IREQ_{min}$: riesgo elevado, con posibilidad de enfriamiento rápido y necesidad de medidas inmediatas (ropa adicional, pausas en ambiente cálido).

4.5. Determinación de límites de exposición

Cuando el aislamiento térmico real de la ropa (I_{cl}) es inferior al aislamiento requerido ($IREQ_{min}$), la norma ISO 11079:2007 establece la necesidad de calcular el tiempo máximo de exposición sin riesgo, denominado DLE (Duration Limited Exposure).

El DLE representa el tiempo máximo durante el cual el trabajador puede permanecer en un ambiente frío sin que su temperatura corporal descienda por debajo de los límites fisiológicos admisibles, garantizando que no se produzca una reducción excesiva de la temperatura cutánea ni del núcleo corporal.

Este parámetro es fundamental en la planificación preventiva de tareas en cámaras frigoríficas, ya que permite determinar la duración segura de las exposiciones, el número de pausas necesarias y la rotación de personal para evitar el acúmulo de frío a lo largo de la jornada.

Parámetros de gestión derivados del DLE

A partir del valor obtenido, pueden establecerse tres parámetros operativos clave para la gestión preventiva:

Tiempo máximo de permanencia continua: Determina el número de minutos que un trabajador puede permanecer en la cámara de conservación o congelación sin riesgo fisiológico.

- En cámaras de conservación (0–5 °C), con $I_{cl} \approx IREQ_{min}$, los DLE suelen situarse entre 90 y 120 minutos.
- En cámaras de congelación (–18 a –25 °C), los DLE pueden reducirse a 30–60 minutos si el aislamiento es insuficiente.

Frecuencia y duración de las pausas térmicas: Las pausas deben realizarse en áreas climatizadas o templadas (>15 °C) que permitan la recuperación térmica.

La ISO recomienda una relación 1:5 (por ejemplo, 10 minutos de pausa cada 50 de trabajo) en condiciones severas.

Durante estas pausas, el trabajador debe poder retirar parte del EPI, hidratarse y realizar ejercicios ligeros para restablecer la circulación periférica.

Rotación del personal: En entornos con turnos prolongados, se recomienda establecer rotaciones planificadas entre zonas frías y templadas para distribuir la carga térmica. Esta medida es especialmente importante en muelles de expedición o cámaras de congelación, donde los operarios alternan fases activas y estáticas.

4.6. Métodos complementarios

Aunque el método IREQ (Insulation Required) definido en la ISO 11079 constituye la referencia internacional para la evaluación del estrés térmico por frío, en la práctica pueden utilizarse indicadores complementarios que permiten una valoración más global del entorno térmico o sirven como herramienta de verificación comparativa.

Estos métodos adicionales son especialmente útiles cuando no se dispone de todos los datos necesarios para el cálculo del IREQ o cuando se busca valorar aspectos específicos del confort térmico y la protección de los Equipos de Protección Individual (EPI).

Índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature): El índice WBGT fue originalmente desarrollado para la evaluación del estrés térmico por calor, combinando los efectos de la temperatura seca, la temperatura de globo y la temperatura de bulbo húmedo. Sin embargo, puede utilizarse como referencia cualitativa en ambientes fríos, siempre con cautela, para comparar la severidad relativa entre distintas zonas o detectar posibles desequilibrios microclimáticos.

La fórmula es:

Fórmula para exteriores

$$\text{WBGT} = 0.7T_{\text{hN}} + 0.2T_{\text{g}} + 0.1T_{\text{a}}$$

T_{hN} : Temperatura de bulbo húmedo natural

T_{g} : Temperatura de globo

T_{a} : Temperatura de bulbo seco

Fórmula para interiores (sin carga solar)

$$\text{WBGT} = 0.7T_{\text{hN}} + 0.3T_{\text{g}}$$

En entornos fríos, los valores de WBGT tienden a situarse por debajo de 15 °C, reflejando un bajo estrés térmico por calor, pero pueden ayudar a correlacionar condiciones extremas de humedad y radiación con la sensación de discomfort térmico.

Aunque su aplicabilidad directa en frío es limitada, la utilización del WBGT puede ser útil para registrar la evolución térmica global de una zona y comparar mediciones entre diferentes campañas de control ambiental.

ISO 7730 – Confort térmico y grado de insatisfacción

La norma UNE-EN ISO 7730:2006 establece los criterios para evaluar el confort térmico en ambientes moderados mediante los índices PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Aunque su ámbito principal son los entornos templados o climatizados, su aplicación parcial permite cuantificar el grado de discomfort térmico en trabajadores de cámaras o zonas de manipulación donde la temperatura no es extremadamente baja (por ejemplo, entre 5 y 15 °C).

- PMV valora la percepción subjetiva del ambiente, en una escala de –3 (muy frío) a +3 (muy cálido).
- PPD estima el porcentaje de personas insatisfechas con el ambiente térmico.

En entornos fríos, un valor de $\text{PMV} \leq -1,0$ indica discomfort térmico evidente, y valores inferiores a –2,0 sugieren riesgo de enfriamiento.

Estos indicadores pueden emplearse en áreas de producción, manipulado o antecámaras, donde las temperaturas no justifican un cálculo IREQ completo, pero se busca optimizar el bienestar térmico del personal.

Normas UNE-EN sobre Equipos de Protección Individual (EPI): En la evaluación del riesgo térmico por frío, los EPI desempeñan un papel fundamental como barrera directa de aislamiento. Existen varias normas que definen los niveles mínimos de resistencia térmica exigibles en función del tipo de prenda o elemento de protección:

- UNE-EN 342:2018 – Ropa de protección contra el frío, determina los requisitos de aislamiento térmico y permeabilidad al aire de los conjuntos de ropa destinados a ambientes fríos ($< -5\text{ °C}$). Incluye los valores de I_{cler} (aislamiento resultante) y AP (permeabilidad al aire), junto con ensayos de resistencia al agua.
- UNE-EN 14058:2018 – Ropa de protección contra ambientes frescos, aplicable a entornos con temperaturas comprendidas entre 0 °C y $+10\text{ °C}$, donde el riesgo de hipotermia es bajo pero existe disconfort térmico. Evalúa la resistencia térmica (R_{ct}) y la resistencia a la evaporación (R_{et}).
- UNE-EN 511:2006 – Guantes de protección contra el frío, clasifica los guantes según su resistencia térmica (R_{ct}) y resistencia a la penetración de agua, garantizando la destreza manual y la protección frente a bajas temperaturas por contacto o convección.
- EN ISO 20345:2022 – Calzado de seguridad, incluye ensayos de aislamiento frente al frío (CI) y resistencia al calor (HI), estableciendo los límites mínimos de temperatura admisibles en la suela interior ($\geq 10\text{ °C}$ en ensayos a -17 °C).

El cumplimiento de estas normas garantiza que las prendas utilizadas proporcionan la protección térmica certificada para las condiciones específicas de cada puesto (conservación, congelación, muelle, manipulado).

De esta forma, el técnico de prevención puede triangular los resultados entre métodos objetivos (IREQ), percepciones subjetivas (PMV/PPD) y cumplimiento normativo (UNE-EN), logrando una evaluación integral del entorno térmico en el sector del frío industrial.

4.7. Enfoque práctico en empresas del frío industrial

La aplicación de la metodología de evaluación del estrés térmico por frío, conforme a los criterios de la ISO 11079, se estructura en una secuencia operativa que garantiza la obtención de resultados objetivos y comparables entre diferentes empresas o zonas de trabajo.

Este procedimiento se lleva a cabo durante las visitas técnicas de campo, y permite identificar las condiciones de riesgo, verificar la adecuación del vestuario entregado y establecer medidas correctoras proporcionales a la severidad del ambiente.

A continuación, se describen las fases del proceso:

1. Medición ambiental en cada zona crítica: Se realiza una campaña de mediciones térmicas representativas en las principales áreas de exposición (cámaras de congelación, cámaras de conservación, antecámaras, pasillos, muelles de carga y zonas de producción).

Las variables medidas incluyen:

- Temperatura del aire (T_a)
- Temperatura radiante media (T_g)
- Temperatura de bulbo húmedo (T_w)
- Humedad relativa (HR)
- Velocidad del aire (v_a)

Estas mediciones se efectúan conforme a la UNE-EN ISO 7726:2002, utilizando sensores calibrados y situados a 1,1–1,5 metros de altura (zona respiratoria del trabajador).

En cada zona se recogen al menos tres lecturas consecutivas, promediando los valores para reducir errores instrumentales y obtener una descripción térmica estable del microclima laboral.

2. Asignación del metabolismo según puesto y tarea: Se determina la tasa metabólica (M) asociada a cada puesto conforme a la ISO 8996:2022, clasificando la carga física del trabajo en función del tipo de tarea, postura y ritmo operativo.

Valores típicos:

- Mozo de almacén: 180–220 W/m²
- Carretillero: 120–150 W/m²
- Operario de manipulado: 120 W/m²
- Personal de muelles: 200–250 W/m²
- Técnico de mantenimiento: 100 W/m²

Este valor permite estimar la capacidad interna de generación de calor del trabajador y, junto con las variables ambientales, sirve de base para el cálculo del aislamiento requerido (IREQ).

3. Cálculo de los valores de IREQ_{min} e IREQ_{neutral}: Utilizando los datos ambientales y el metabolismo, se calculan los valores de IREQ_{min} (aislamiento mínimo necesario para prevenir enfriamiento excesivo) y IREQ_{neutral} (aislamiento para mantener confort térmico).

El cálculo puede realizarse mediante software específico que aplica los algoritmos de la ISO 11079, o Tablas de referencia normalizadas que relacionan temperatura, velocidad del aire, metabolismo y humedad con el aislamiento requerido.

Este paso permite establecer el nivel teórico de protección térmica que debería proporcionar el vestuario laboral en cada puesto o zona.

4. Determinación del aislamiento real de la ropa (I_{cl}): Se evalúa el aislamiento térmico del conjunto de ropa utilizado por los trabajadores, expresado en clo o m²•K/W, conforme a la UNE-EN ISO 9920:2010. Este valor puede obtenerse mediante Tablas de referencia ISO (valores asignados a cada prenda), o Fichas técnicas facilitadas por los fabricantes de EPI (certificados bajo UNE-EN 342 o 14058). La suma de las prendas utilizadas (chaqueta isotérmica, pantalón térmico, botas, guantes, etc.) da lugar al I_{cl} total del conjunto, que se ajusta aplicando el factor de cobertura corporal (f_{cl}).

5. Comparación entre valores y definición del nivel de riesgo: El análisis del margen térmico entre el aislamiento requerido y el real determina la existencia o no de riesgo térmico

Condición	Relación I_{cl} / IREQ	Evaluación	Nivel de riesgo
$I_{cl} \geq IREQ_{neutral}$	Protección suficiente	Confort térmico	Sin estrés
$IREQ_{min} \leq I_{cl} < IREQ_{neutral}$	Protección adecuada pero límite	Frío leve	Riesgo controlado
$I_{cl} < IREQ_{min}$	Aislamiento insuficiente	Pérdida térmica progresiva	Riesgo por frío / exposición limitada

En este último caso, se debe calcular el tiempo máximo de exposición (DLE) y aplicar pausas térmicas o rotación de personal para evitar el enfriamiento corporal acumulado.

6. Establecimiento de medidas preventivas: A partir del diagnóstico térmico se definen las acciones correctoras y preventivas, que pueden incluir el aumento del aislamiento térmico mediante ropa adicional o prendas certificadas de mayor clo, la reducción del tiempo de exposición según los valores DLE calculados, la instalación de refugios térmicos o zonas de recuperación en muelles y pasillos de tránsito, la organización de turnos y rotación del personal entre zonas frías y templadas, el control de humedad y velocidad del aire, ajustando evaporadores o cortinas de aire, la formación del personal para el reconocimiento precoz de síntomas de hipotermia o congelación. Cada medida se integra en la planificación preventiva de la empresa, conforme a lo establecido en los artículos 16 y 23 de la Ley 31/1995, y debe documentarse en el Plan de Prevención o Planificación de la Actividad Preventiva.





Análisis cuantitativo de empresas muestreadas

5. Análisis cuantitativo de empresas muestreadas

5.1. Análisis

Los resultados obtenidos corresponden al cuestionario elaborado para empresas del sector del frío industrial, almacenamiento y logística, donde se pretende analizar la incidencia de las condiciones ambientales de trabajo y su relación con posibles riesgos laborales, especialmente trastornos músculo-esqueléticos y efectos derivados de la exposición al frío.

El cuestionario consta de tres apartados:

- Identificación básica del trabajador (edad, sexo), características del puesto de trabajo (puesto de trabajo, antigüedad en empresa, lugar en organigrama, tipo de contrato, jornada) y características de la empresa (actividad principal y número de empleados).
- Condiciones ambientales en áreas de trabajo, donde se valora humedad relativa, velocidad del aire, temperatura seca, temperatura de bulbo húmedo.
- Características de la instalación como es la superficie de las cámaras, sistemas de protección, etc.

Se han cubierto 10 cuestionarios por las empresas en el momento de la visita.

Se ha elaborado una base de datos mediante el paquete estadístico SPSS (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) con los datos obtenidos en los cuestionarios.

Para describir variables cuantitativas se utilizará medidas de centralización como la Media, Mediana y Moda.

Las variables ordinales se describirán en frecuencias totales y por porcentajes, su representación será gráfica o mediante tablas de contingencia.

Dentro del análisis de las condiciones ambientales se ha aplicado el método IREQ (Insulation Required, ISO 11079), que permite determinar el aislamiento térmico requerido de la ropa de trabajo en entornos de bajas temperaturas. Este índice considera la temperatura seca y de globo, la humedad relativa, la velocidad del aire, el metabolismo energético (M) asociado a la tarea y el aislamiento real de la vestimenta (I_{cl}) expresado en clo o $m^2 \cdot K/W$.

Este enfoque cuantitativo aporta una evaluación objetiva del riesgo de estrés térmico por frío en el sector de almacenamiento frigorífico y logístico, permitiendo establecer medidas preventivas concretas: mejora de la ropa de trabajo, control de tiempos de exposición, pausas en zonas templadas y vigilancia de síntomas tempranos de enfriamiento.

5.2. Resultados

La población objeto de estudio está formada por personas con actividad laboral activa y por cuenta ajena, que desempeñan sus funciones en diferentes puestos vinculados a la manipulación, conservación y transporte de productos a baja temperatura. En total, se recopilieron cuestionarios de 10 empresas representativas del sector, lo que permite obtener una visión amplia de las condiciones de trabajo y del perfil de los empleados expuestos al frío.

Sexo: se evidencia un predominio claro de trabajadores hombres, con 123 hombres frente a 5 mujeres, estas últimas concentradas en una única empresa. Este dato confirma la masculinización del sector, especialmente en puestos operativos como mozos de almacén, carretilleros y operarios de cámara.

Medida de edad: la muestra presenta una media de 43 años, con un rango comprendido entre los 18 y 55 años. Esto indica una plantilla mayoritariamente adulta, con experiencia en el sector y con una capacidad de adaptación térmica que puede verse reducida en los tramos superiores de edad:



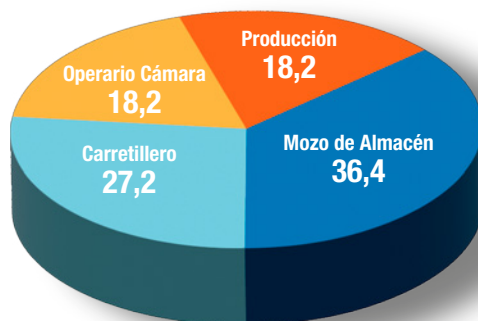
Gráfica 1: Rango de edades de los participantes

En conjunto, los resultados demográficos reflejan un perfil profesional consolidado, predominantemente masculino y de edad intermedia, lo que pone de manifiesto la importancia de aplicar programas de prevención adaptados a las características fisiológicas y al envejecimiento progresivo de la fuerza laboral en el sector del frío industrial.

Localización en el organigrama: Se observa que el perfil predominante es el de mozo de almacén, que concentra el 36,4 % del total de trabajadores, seguido por el carretillero, con un 27,2 %. Ambos puestos implican una exposición elevada al frío por su presencia continua en cámaras y zonas de manipulación. En un segundo nivel se sitúan los operarios de cámara y el personal de producción, ambos con un 18,2 % de representación. Aunque estos porcentajes son menores, también desarrollan tareas en condiciones térmicas exigentes, especialmente en cámaras de conservación y congelación.



En conjunto, la gráfica refleja que más del 80 % del personal analizado realiza actividades con exposición directa o frecuente a bajas temperaturas, lo que justifica la necesidad de medidas preventivas específicas frente al estrés térmico por frío. (Gráfica 2).



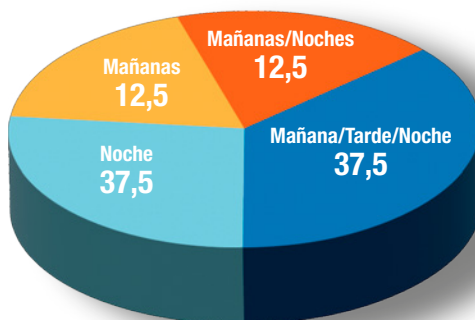
Gráfica 2. Distribución de localización en el organigrama.

Tipo de horario: La gráfica muestra la distribución de los tipos de horario del personal analizado en el sector del frío industrial, almacenamiento y logística.

Se observa que los turnos rotativos de Mañana–Tarde–Noche y los turnos fijos de Noche son los más frecuentes, representando cada uno el 37,5 % del total. Este dato evidencia la necesidad de mantener la continuidad operativa en las grandes plataformas logísticas, donde las actividades de carga, descarga y conservación deben realizarse sin interrupción.

En segundo lugar, los turnos de Mañanas y los turnos combinados de Mañanas/Noches tienen una representación del 12,5 % cada uno, predominando en empresas de menor tamaño o en aquellas con menor volumen de expedición nocturna.

La alta proporción de horarios rotativos y nocturnos supone un factor de riesgo adicional en la gestión del estrés térmico por frío, ya que las variaciones circadianas afectan la termorregulación, la percepción térmica y el rendimiento físico del trabajador. Por tanto, estos resultados subrayan la importancia de incorporar pausas térmicas adecuadas y medidas organizativas que permitan compensar la exposición prolongada a ambientes fríos en turnos extendidos o nocturnos.



Gráfica 3. Distribución de localización en el organigrama.

Antigüedad promedio: La gráfica refleja la antigüedad promedio de los trabajadores encuestados en las empresas del sector del frío industrial, almacenamiento y logística.

El valor medio obtenido es de 5,9 años, lo que sitúa a la mayoría de los empleados en una franja de antigüedad comprendida entre 1 y 5 años. Este dato indica una plantilla con experiencia consolidada, que ha adquirido una adaptación progresiva a las condiciones ambientales y operativas de los entornos fríos.

Sin embargo, también se identifica un grupo relevante con más de 10 años de permanencia, lo que sugiere una baja rotación laboral en determinados puestos o empresas. Este hecho puede interpretarse de forma positiva en términos de estabilidad, pero también implica la necesidad de reforzar la vigilancia de la salud y la ergonomía térmica en trabajadores veteranos, ya que la exposición acumulada al frío puede aumentar la susceptibilidad a trastornos musculoesqueléticos y vasculares.

En conjunto, la gráfica evidencia que el sector del frío industrial cuenta con personal experimentado y estable, un factor que puede favorecer la aplicación efectiva de programas preventivos, siempre que se acompañe de formación continua y seguimiento médico específico frente al estrés térmico por frío.



Gráfica 4. Antigüedad promedio de los trabajadores encuestados en la empresa.

Rangos del análisis estadístico: El análisis estadístico de las mediciones realizadas en las distintas zonas de trabajo refleja que las temperaturas secas se concentran principalmente entre 10 y 15 °C, con valores extremos de 5–7 °C en cámaras y expedición y máximos en torno a 23 °C en muelles y zonas de producción. Esta distribución indica que, aunque la mayor parte de los puestos se ubican en un rango intermedio, existen áreas críticas por frío que requieren especial vigilancia.

La humedad relativa presenta un comportamiento variable, con valores bajos en pasillos y expedición (28–41 %) y un máximo en producción (63 %). La mediana del conjunto se sitúa en torno al 39 %, lo que confirma que la mayoría de las áreas se mantienen en condiciones de humedad moderada.

En relación con la velocidad del aire, predominan situaciones de calma o con corrientes muy débiles (<0,2 m/s). Sin embargo, las áreas de expedición destacan por registrar velocidades elevadas (0,7–0,8 m/s), lo que incrementa la pérdida de calor corporal y eleva los requerimientos de aislamiento.

El cálculo del IREQ evidencia que el valor mínimo requerido se sitúa mayoritariamente en el intervalo 0,21–0,26 m²•K/W, con un IREQ neutral en torno a 0,28–0,31 m²•K/W. Comparando estos valores con el aislamiento real de la ropa utilizada (≈0,31 m²•K/W para 2 clo), se observa que la mayoría de los puestos disponen de protección suficiente.

No obstante, en cámaras y zonas de expedición el margen se vuelve negativo (–0,01 a –0,05 m²•K/W), señalando un riesgo de estrés por frío en condiciones de exposición prolongada o trabajos de baja carga metabólica. En contraposición, en muelles y áreas de producción los márgenes son positivos y holgados, confirmando un nivel de protección adecuado.

En síntesis, los resultados estadísticos muestran que el aislamiento térmico actual cubre las necesidades de la mayor parte de los trabajadores, pero deben considerarse refuerzos de vestimenta o limitaciones de tiempo de exposición en cámaras y expedición, donde se concentran las condiciones ambientales más desfavorables.

5.3. Conclusiones

Las conclusiones obtenidas a partir del análisis del sector del frío industrial, almacenamiento y logística permiten establecer un diagnóstico técnico sólido sobre el perfil de exposición, las condiciones ambientales y el nivel de riesgo térmico por frío en los distintos entornos de trabajo evaluados.

Perfil de la muestra

- El estudio confirma que el sector mantiene un marcado predominio masculino, con una representación femenina residual y vinculada, en su mayoría, a puestos administrativos o de control.
- La edad media del personal se sitúa en torno a los 43 años, con una amplitud entre 18 y 55 años, reflejando una población laboral madura y con experiencia acumulada en entornos térmicamente exigentes.
- En cuanto a la estructura organizativa, la mayoría de los trabajadores ocupa puestos operativos de base (mozos de almacén, carretilleros, operarios de cámara o producción), mientras que los niveles técnicos o de supervisión tienen una presencia minoritaria.
- El horario predominante es el rotativo de Mañana–Tarde–Noche, especialmente en grandes plataformas logísticas con funcionamiento continuo, coexistiendo en menor medida jornadas partidas y turnos fijos en empresas medianas o pequeñas.
- La antigüedad promedio, situada en 5,9 años, muestra una plantilla con estabilidad laboral y bajo índice de rotación, donde la mayoría acumula entre 1 y 5 años de experiencia, aunque persiste un grupo consolidado con más de una década en el mismo puesto.

Condiciones ambientales

Las mediciones térmicas evidencian una fuerte heterogeneidad según la zona:

- Temperatura seca: predominan valores entre 10 y 15 °C, con descensos hasta 5–7 °C en cámaras y expedición, y picos de hasta 23 °C en muelles y áreas de producción.
- Humedad relativa: oscila entre 30 % y 40 % en pasillos y muelles, alcanzando un máximo de 63 % en zonas de producción.
- Velocidad del aire: en general baja (< 0,2 m/s), salvo en expedición, donde llega a 0,7–0,8 m/s, intensificando el enfriamiento por convección y la pérdida de calor corporal.
- Estos parámetros configuran un escenario donde las condiciones microclimáticas varían significativamente dentro de la misma instalación, lo que exige una evaluación diferenciada por zonas y tareas.

Cálculo de IREQ

El análisis conforme a la norma ISO 11079 muestra que:

- El IREQ mínimo se sitúa entre 0,21 y 0,26 m²•K/W, mientras que el IREQ neutral se encuentra entre 0,28 y 0,31 m²•K/W.

- El aislamiento medio de la ropa de trabajo ($\approx 2 \text{ clo} = 0,31 \text{ m}^2 \bullet \text{K/W}$, con valores máximos de hasta $2,9 \text{ clo}$) cubre adecuadamente las necesidades térmicas en la mayoría de las áreas.
- Sin embargo, en cámaras y zonas de expedición se registran márgenes negativos ($-0,01$ a $-0,05 \text{ m}^2 \bullet \text{K/W}$), lo que indica un riesgo potencial de estrés térmico por frío en exposiciones prolongadas o en situaciones de elevada velocidad del aire.

Valoración global del riesgo

En conjunto, los resultados reflejan que las condiciones térmicas del sector son controlables y que el aislamiento de la ropa proporcionada resulta generalmente suficiente.

Aun así, ciertas zonas críticas requieren medidas adicionales, ya que las condiciones de temperatura y movimiento del aire pueden sobrepasar los límites de confort y seguridad térmica del trabajador.

Implicaciones preventivas

De la interpretación de los datos se derivan varias recomendaciones clave:

- Introducir pausas térmicas programadas en zonas templadas ($18\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$) para facilitar la recuperación del equilibrio térmico.
- Refuerzo del aislamiento individual, incorporando prendas o capas adicionales cuando el IREQ real esté por debajo del valor mínimo.
- Vigilancia específica de la salud frente a patologías asociadas al frío (vasoespásticas, musculoesqueléticas, respiratorias).
- Control técnico continuo de las variables térmicas (T_a , HR , va) y registro de desviaciones en sistemas de gestión preventiva.





Análisis cualitativo de empresas muestreadas

6. Análisis cualitativo de empresas muestreadas

6.1. Análisis

Los resultados obtenidos corresponden a las entrevistas realizadas en una muestra orientativa de empresas del sector del frío industrial, almacenamiento y logística, donde se pretende conocer cómo se gestiona el estrés térmico, su visión y percepción sobre este tema.

Las entrevistas se dirigen a responsables de seguridad y salud laboral de las empresas, recursos humanos, mandos intermedios, etc.

Para ello se elaboró un guion de entrevista de estructura semidirigida, que consta de los siguientes apartados:

analizar la incidencia de las condiciones ambientales de trabajo y su relación con posibles riesgos laborales, especialmente trastornos musculoesqueléticos y efectos derivados de la exposición al frío.

El cuestionario consta de tres apartados:

- Información general.
- Áreas de trabajo expuestos a frío.
- Gestión preventiva del frío industrial en áreas de trabajo.
- Información y formación.
- Áreas de descanso.
- Ropa de trabajo.
- Equipos de Protección Individual.
- Primeros Auxilios/Emergencias.
- Vigilancia de la salud.

Se han realizado 6 entrevistas en empresas del sector.

6.2. Resultados

En términos generales, las empresas que han participado en la realización de las entrevistas tienen como **actividad principal** el almacenamiento de productos en condiciones de temperatura óptimas y su preparación para su transporte y distribución para realizar la entrega de productos alimentarios garantizando la cadena de frío.

La **modalidad de organización preventiva** en la mayoría de las empresas visitadas y en las que se realizan las entrevistas, consiste en la contratación de un Servicio de Prevención Ajeno que cubre las

3 disciplinas preventivas: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y Psicosociología Aplicada y Vigilancia de la Salud.

Alguna empresa participante, cuenta como modalidad de organización preventiva con un Servicio de Prevención Propio que cubre las disciplinas preventivas de Seguridad en el Trabajo y Ergonomía y Psicosociología Aplicada y con un Servicio de Prevención Ajeno que cubre las especialidades de Higiene Industrial y Vigilancia de la Salud.

Las **áreas de trabajo** donde se identifica exposición a frío, son las cámaras de congelación, el área de conservación, área de manipulación y la zona de muelles.

Los **puestos de trabajo** donde se identifican exposición a frío por su exposición continua en cámaras de congelación, zona de manipulado y zona de muelles: son el mozo almacén, que suele realizar trabajos en las zonas de conservación y manipulación, carretillero, que realiza desplazamientos del área de congelación a zona de conservación o bien del área de congelación a zona de muelles, dependiendo de la actividad de la empresa.

En cuanto al **género** en puestos de trabajo donde se identifica exposición al frío, en general, se trata de puestos en los que predominan trabajadores, principalmente el puesto de carretillero y aunque en el puesto de operario de almacén también predominan trabajadores, algunos casos también se encuentran trabajadoras, especialmente cuando en la empresa hay zonas de manipulado.

La **jornada de trabajo** de las empresas participantes es variada, aunque predomina el trabajo a turnos en modalidad de turno de mañana y de tarde, y turnos fijos.

Las empresas cumplen con lo establecido en la **normativa aplicable relacionada con la exposición a frío industrial**, respetándose de forma rigurosa los descansos establecidos según la legislación vigente y el tiempo de exposición cuando las tareas se realizan en cámaras de congelación.

En cuanto a la **gestión preventiva del frío industrial** en áreas de trabajo, las empresas han realizado mediciones higiénicas relacionadas con condiciones ambientales; en concreto, de temperatura, humedad y velocidad del aire, con resultados que no son deficientes.

Hay que tener en cuenta que se tratan de instalaciones que cuentan con control de temperatura constante, que, entre otras cosas, garantiza el cumplimiento de la cadena de frío.

En algunas empresas que han participado se han realizado **estudios de estimación de sensación térmica** (PMV).

Las evaluaciones de riesgos laborales de las empresas identifican el **riesgo de exposición a temperaturas extremas** y la correspondiente planificación preventiva refleja la adopción de medidas relacionadas con las condiciones ambientales y más concretamente, sobre la temperatura y la humedad.

Las personas trabajadoras que ocupan puestos de trabajo en los que se identifica la exposición al frío reciben **información** relacionada con las medidas de prevención y de protección que se deben adoptar; en general, se trata de información que se facilita a través de fichas informativas y en algunos casos, se incide en las reuniones de equipo que se tienen de forma periódica.

También reciben **formación**, relacionada con el riesgo de exposición a frío, incluida en la formación que se imparte sobre los riesgos en el puesto de trabajo, según lo establecido en el artículo 19 de la LPRL y adicionalmente, en algunas empresas la formación es específica sobre este tema.

La modalidad más habitual es una formación presencial y on line, que imparte el Servicio de Prevención Ajeno contratado con una periodicidad habitual cada 3 o 4 años.

En cuanto a formación sobre Primeros Auxilios, no es habitual que reciban este tipo de formación salvo cuando forman parte de la Brigada de Primeros Auxilios establecida para casos de emergencia.

Las empresas cuentan con **área de descanso** que el personal suele utilizar. Estas áreas cuentan con una temperatura adecuada, mobiliario para tomar algo, nevera, microondas, dispensadores de agua y en la mayoría de los casos máquina con refrescos y alimentos.

La empresa proporciona **ropa de trabajo** que suele constar de ropa de protección térmica consistente en camiseta térmica, chaqueta térmica, abrigo/chaquetón, protección de cabeza y cuello, guantes; en algunos casos, también ropa interior térmica y calcetines térmicos.

Este tipo de ropa de trabajo se suele renovar de forma periódica, normalmente es anual y en caso de que se deteriore, la persona trabajadora lo comunica a la empresa y recibe ropa de repuesto.

En caso de atención de **Primeros Auxilios**, las empresas disponen de botiquín en zonas cercanas a cámaras de congelación, conservación y muelles; en algunos casos, también en la zona de descanso. Cuentan con desfibrilador automático (DEA/DESA).

Las empresas que han participado indican no haber tenido accidentes relacionados con el frío y enfermedad profesional relacionada con el frío.

En cuanto a la **Vigilancia de la Salud**, se realizan los reconocimientos médicos cumpliendo con lo establecido según la normativa vigente y el reconocimiento incluye protocolo específico relacionado con la exposición al frío.

No se han registrado daños a la salud asociados a la exposición a frío industrial.



Medidas preventivas

7. Medidas preventivas

La gestión del estrés térmico por frío en el sector del frío industrial debe abordarse de forma integral y planificada, combinando medidas de ingeniería, de organización del trabajo y de protección individual, de modo que el control del riesgo no dependa únicamente de la resistencia física del trabajador, sino de un entorno térmicamente seguro y ergonómicamente adaptado.

El criterio técnico de referencia es la norma ISO 11079:2007, que define el aislamiento térmico requerido de la ropa (IREQ) como el parámetro central de evaluación. El objetivo es garantizar que el aislamiento real proporcionado por la vestimenta (I_{cl}) sea igual o superior al aislamiento mínimo requerido ($IREQ_{min}$) y, siempre que sea viable, se aproxime al valor de confort térmico ($IREQ_{neutral}$).

Este equilibrio se logra mediante el ajuste coordinado entre las condiciones ambientales, la carga metabólica del trabajo y el nivel de protección personal, de modo que la exposición prolongada no genere enfriamiento corporal ni discomfort térmico.

Cuando el aislamiento disponible no alcanza los valores requeridos, la propia norma establece el cálculo del tiempo máximo de exposición permitido (DLE – Duration Limited Exposure), que determina la duración segura de permanencia en la zona fría antes de requerir una pausa térmica o un cambio de tarea.

7.1. Ingeniería y entorno

7.1.1. Diseño de antecámaras para evitar choques térmicos

Las medidas de ingeniería constituyen la primera línea de control técnico del riesgo térmico, ya que actúan directamente sobre las condiciones ambientales que determinan la pérdida de calor corporal: temperatura, velocidad del aire, gradiente térmico y radiación de superficies frías.

Su objetivo es mantener la estabilidad térmica del entorno de trabajo y reducir los efectos convectivos y radiativos que incrementan el aislamiento requerido (IREQ) según la norma ISO 11079.

Las principales actuaciones técnicas en instalaciones del sector del frío industrial incluyen:

a) antecámaras de transición térmica:

La incorporación de SAS o antecámaras entre los pasillos templados y las cámaras de conservación o congelación constituye una medida esencial para reducir el gradiente térmico y minimizar el número de “impactos” térmicos por paso.

Estas zonas actúan como amortiguadores térmicos, estabilizando la temperatura y evitando el ingreso directo de aire cálido o húmedo a las cámaras.

Un diseño adecuado de antecámaras contribuye a:

- Disminuir las corrientes de aire frío hacia las zonas templadas.
- Evitar la formación de hielo y condensación en puertas y pavimentos.

- Reducir la variabilidad del microclima en áreas de tránsito.

Desde el punto de vista técnico, se recomienda mantener en los SAS una temperatura intermedia entre 0 °C y +10 °C, con un control de humedad inferior al 60 %.

b) Puertas de apertura rápida con interbloqueo

Las puertas automáticas de apertura rápida (ciclos < 2–3 s) son una solución eficaz para minimizar el tiempo de exposición al intercambio térmico.

Se aconseja el uso de automatismos de detección de presencia o movimiento (fotocélulas, radares) y sistemas de interbloqueo que impidan la apertura simultánea de puertas consecutivas (por ejemplo, entre antecámara y cámara).

Estas medidas:

- Reducen la infiltración de aire cálido y húmedo.
- Disminuyen la entrada de condensación y escarcha.
- Mantienen la presión diferencial controlada entre recintos.

Además, el mantenimiento preventivo de los mecanismos de cierre es fundamental para garantizar la estanqueidad, evitando fugas de aire frío que puedan alterar la velocidad de aire local y elevar el IREQ de los puestos cercanos.

c) Abrigos y sellos de muelle (Dock Shelters / Dock Seals)

En las operaciones de carga y descarga, los abrigo y sellos de muelle actúan como barrera entre el interior climatizado y el exterior, limitando la infiltración de aire cálido y húmedo al acoplar el camión.

Estos elementos deben adaptarse al tipo de vehículo y mantener un sellado perimetral completo, evitando espacios por los que circulen corrientes directas hacia el operario.

Se recomienda:

- Utilizar materiales flexibles de alta resistencia y baja conductividad térmica.
- Asegurar la compresión adecuada del abrigo para lograr un cierre hermético.
- Incorporar iluminación interior y señalización térmica en la zona de muelle.

Su correcta instalación reduce significativamente la velocidad del aire incidente en la zona de carga, mejorando la seguridad térmica y el rendimiento energético global.

d) Cortinas de aire equilibradas y calibradas

Las cortinas de aire constituyen un elemento esencial en la separación de zonas térmicas con tránsito frecuente. Para ser efectivas, deben estar correctamente balanceadas y orientadas, de modo que:

- Cubran completamente el ancho del hueco.
- Mantengan una velocidad lineal uniforme en el plano de la puerta.
- No generen sobrecorrientes hacia el operario.

Una cortina mal ajustada puede producir microcorrientes descendentes que aumentan el enfriamiento localizado del trabajador.

El objetivo técnico es limitar la velocidad de aire incidente en el operario a valores $\leq 0,3$ m/s en puestos fijos y $\leq 0,5$ m/s en muelles o expedición, reduciendo así el incremento del IREQ por convección, conforme a lo indicado en la ISO 11079.

e) Vestíbulos presurizados en zonas de tránsito

En puntos de paso con elevada frecuencia (por ejemplo, entre cámaras o entre muelles y pasillos), la instalación de vestíbulos presurizados ligeros permite mantener un flujo de aire controlado que impide el intercambio térmico directo.

El principio consiste en mantener una presión positiva en la zona templada respecto a la fría, mediante ventiladores de bajo caudal, lo que evita la entrada de aire frío sin afectar al rendimiento del sistema frigorífico.

Estos vestíbulos, combinados con puertas de apertura rápida, son especialmente recomendables en muelles de alto tráfico o áreas de picking refrigerado, donde los pasos son constantes y el riesgo térmico intermitente.

f) Objetivo técnico y control del entorno

El objetivo global de estas medidas de ingeniería es mantener la velocidad del aire incidente sobre el trabajador dentro de los valores admisibles:

- $\leq 0,3$ m/s en puestos fijos o de manipulación estática.
- $\leq 0,5$ m/s en zonas de tránsito o carga/descarga.

Estos límites garantizan que la pérdida de calor por convección forzada no incremente significativamente el aislamiento requerido (IREQ) y que la sensación térmica del trabajador se mantenga dentro de márgenes tolerables según la ISO 11079.

La eficacia de estas medidas debe verificarse mediante campañas periódicas de medición ambiental (temperatura, humedad, velocidad del aire), conforme a la UNE-EN ISO 7726, y documentarse en los informes técnicos del Servicio de Prevención.

7.1.2. Control de humedad y velocidad del aire

El control de la humedad relativa y de la velocidad del aire constituye uno de los factores más determinantes en la prevención del estrés térmico por frío, dado que ambos parámetros influyen directamente en la pérdida de calor por convección y evaporación, así como en la sensación térmica percibida por el trabajador.

El objetivo técnico es mantener una humedad relativa comprendida entre el 30 % y el 60 % y una velocidad del aire inferior a 0,3 m/s en puestos fijos o de manipulación estática, y $\leq 0,5$ m/s en zonas de tránsito o muelles de carga, conforme a los límites recomendados por la ISO 11079 y la UNE-EN ISO 7726.

El exceso de humedad ambiental o las corrientes de aire mal dirigidas no solo aumentan la sensación de frío, sino que aceleran el enfriamiento corporal, reducen la eficacia del aislamiento de la ropa (al humedecer las capas internas) y favorecen la aparición de condensaciones e hielo superficial, con el consiguiente riesgo de caída o atrapamiento.

- a)** Deshumidificación en cámaras y antecámaras: En cámaras de conservación y antecámaras debe implantarse un sistema de deshumidificación controlada, destinado a disminuir la formación de escarcha y condensación en suelos, paredes y evaporadores, reducir el riesgo de resbalones o caídas por acumulación de hielo superficial, minimizar la humectación del tejido de las prendas, que disminuye hasta en un 30 % su aislamiento térmico efectivo (ISO 9920). Además, mantener una humedad relativa moderada evita el deterioro de los aislamientos térmicos de la instalación y mejora la eficiencia energética del sistema frigorífico.
- b)** Control y orientación de flujos de aire: El aire impulsado por los evaporadores debe distribuirse de forma homogénea, evitando chorros directos sobre los puestos fijos de trabajo. Para ello, se recomienda la instalación de pantallas deflectoras o baffles que desvíen el flujo hacia zonas de recirculación, reduciendo la sensación de corriente y el enfriamiento localizado.
- Asimismo, la orientación de las salidas de aire debe diseñarse según el principio de flujo laminar descendente controlado, asegurando que las velocidades medias en la zona ocupada no superen los límites establecidos.
- El mantenimiento preventivo de ventiladores, filtros y rejillas es fundamental para evitar desequilibrios de caudal que provoquen microcorrientes o zonas frías localizadas.
- c)** Equilibrado de rejillas y caudales: La red de impulsión y retorno del aire en cámaras debe estar hidráulica y aerodinámicamente equilibrada, garantizando una distribución térmica uniforme.
- El uso de rejillas orientables y difusores equilibrados permite ajustar el caudal y la dirección del aire, evitando el impacto directo sobre el trabajador y reduciendo el gradiente térmico vertical (diferencia entre cabeza y pies), que puede alcanzar hasta 2 °C en zonas mal distribuidas.
- Este control contribuye también a estabilizar la temperatura radiante media (T_g), variable fundamental en el cálculo del IREQ.
- d)** Pavimentos y drenaje: El mantenimiento de pavimentos antideslizantes y bien drenados es esencial no solo desde el punto de vista de la seguridad (riesgo de caída), sino también térmico. Las superficies húmedas o heladas aumentan la pérdida de calor por conducción al contacto con el calzado, provocando enfriamiento localizado en pies y piernas. Por ello, se recomienda que se utilicen pavimentos con rugosidad controlada y drenaje longitudinal eficaz, garantizar una pendiente mínima del 1 % hacia los puntos de evacuación, evitar zonas de acumulación de agua bajo evaporadores o puertas de acceso.
- Estas actuaciones no solo reducen el riesgo de accidente, sino que mejoran la percepción térmica general del puesto de trabajo.
- e)** Objetivo técnico y marco normativo: La combinación de control de humedad, equilibrio de caudales y drenaje tiene como finalidad reducir el efecto convectivo y evaporativo sobre el trabajador, asegurando que el incremento del IREQ por convección sea mínimo. Los límites operativos se ajustan a las recomendaciones de la ISO 11079:2007 (determinación del aislamiento requerido – IREQ), UNE-EN ISO 7726:2002 (medición de velocidad del aire y humedad), RD 486/1997, Anexo III, condiciones ambientales de los lugares de trabajo.

En conjunto, estas medidas permiten mantener la estabilidad microclimática de las cámaras y zonas de paso, prolongar la vida útil de los equipos y proteger la salud térmica del trabajador, evitando tanto la hipotermia localizada como la fatiga por exposición continuada.

7.1.3. Sistemas de alarmas térmicas y sensores de gases

El control continuo de los parámetros ambientales en las instalaciones frigoríficas es esencial para garantizar tanto la seguridad térmica del personal como la operatividad segura de los equipos de refrigeración. Las desviaciones en temperatura, humedad o ventilación pueden suponer un riesgo inmediato para la salud de los trabajadores o el inicio de una situación de emergencia asociada a fugas de refrigerante o fallos de aislamiento.

Por ello, las medidas de vigilancia instrumental y de alarma deben estar integradas dentro del Plan de Prevención y de Autoprotección, asegurando el cumplimiento del RD 486/1997 (condiciones de los lugares de trabajo), el RD 374/2001 (agentes químicos), el RD 681/2003 (atmósferas explosivas) y la norma UNE-EN 378 (seguridad en sistemas de refrigeración).

- a)** Monitorización ambiental continua: Las cámaras y zonas de trabajo deberán contar con sistemas de registro continuo (data loggers) que monitoricen, al menos, los parámetros de temperatura del aire (T_a), humedad relativa (HR) y velocidad del aire (v_a).

Estos dispositivos deben disponer de registro trazable y exportable, de modo que pueda integrarse en la gestión preventiva, alarmas automáticas por desviación de consigna, tanto por exceso como por defecto, configuradas según los umbrales definidos para cada zona (por ejemplo, ± 2 °C respecto al valor nominal), alertas de mantenimiento predictivo, asociadas a fallos de ventilación, condensación o escarcha anómala, el registro periódico permite identificar tendencias y establecer acciones correctoras tempranas, evitando que las desviaciones deriven en estrés térmico o deterioro del producto almacenado.

- b)** Alarmas térmicas locales: En cámaras de congelación y antecámaras deben instalarse dispositivos de aviso visual y acústico que activen una alarma cuando la temperatura ambiente descienda por debajo del umbral operativo seguro (por ejemplo, -25 °C en zonas de congelación), la velocidad del aire (v_a) supere el límite de confort térmico ($>0,5$ m/s), lo que incrementa el enfriamiento por convección y eleva el valor IREQ del puesto, estas alarmas deben ubicarse en puntos de acceso visibles y mantenerse operativas durante toda la jornada, integradas en el sistema general de supervisión del área.

Su activación debe conllevar una revisión inmediata del entorno térmico y, si procede, la evacuación temporal del personal expuesto hasta restablecer las condiciones normales.

- c)** Detección de refrigerantes por el uso de refrigerantes industriales (amoníaco, dióxido de carbono, hidrocarburos halogenados, etc.) ya que implica un riesgo añadido de exposición química o asfixia, especialmente en cámaras estancas o con ventilación deficiente, en cumplimiento de la UNE-EN 378:2022, todos los sistemas frigoríficos deben disponer de detectores automáticos de fugas calibrados para los gases utilizados, ubicados en zonas bajas (CO_2 , más denso que el aire) o altas (NH_3 , más ligero), cámaras, antecámaras, salas de máquinas y recintos técnicos, puntos de acceso al sistema de refrigeración.

Estos dispositivos deben integrarse con el sistema de ventilación para que, ante una detección positiva, activen automáticamente la ventilación de emergencia y las válvulas de alivio o sobrepresión, evitando la acumulación peligrosa de gases.

El RD 374/2001 obliga a evaluar este riesgo en la evaluación de exposición química, estableciendo valores límite de exposición profesional (VLA-ED/VLA-EC) y procedimientos de rescate en atmósferas contaminadas.

- d)** Plan de emergencia y rescate: Todo sistema de refrigeración con riesgo de fuga o atrapamiento en cámara debe disponer de un plan de emergencia específico, integrado en el Plan de emergencias o Autoprotección conforme al RD 393/2007.

- e) **Mantenimiento y verificación:** los sistemas de detección y alarma deben someterse a verificaciones funcionales periódicas, garantizando su operatividad continua, el mantenimiento debe incluir la calibración anual de detectores de gas, revisión trimestral de balizas, sirenas y sensores térmicos, pruebas de apertura y funcionamiento de válvulas de sobrepresión y ventilación, la trazabilidad de estos registros debe conservarse y revisarse durante las auditorías internas del sistema preventivo.

En conjunto, la monitorización continua, la detección de gases y los sistemas de alarma térmica permiten anticipar desviaciones críticas, proteger la salud de los trabajadores y evitar incidentes graves en entornos donde los márgenes térmicos de seguridad son estrechos.

Estas medidas son el núcleo técnico de la prevención proactiva del riesgo térmico y químico en el frío industrial, integrando tecnología, mantenimiento y gestión preventiva de forma coordinada.

7.1.4. Otros controles de entorno relevantes

Además del control de temperatura, humedad y ventilación, existen una serie de factores complementarios del entorno que influyen de forma directa en la seguridad térmica y funcional del trabajador en instalaciones frigoríficas. Su correcta gestión permite prevenir situaciones de atrapamiento, caídas, errores operativos y enfriamiento excesivo, integrando la seguridad estructural, ergonómica y organizativa del entorno de trabajo.

- a) **Interbloqueos y sistemas de apertura interior:** todas las puertas de acceso a cámaras y túneles de congelación deben incorporar mecanismos de apertura desde el interior, tipo tiradores antipánico o sistemas de desbloqueo manual, conforme al Anexo I del RD 486/1997 y a los principios del RD 1215/1997 sobre seguridad de los equipos de trabajo. Los interbloqueos eléctricos o electromecánicos deben garantizar que las puertas no puedan cerrarse accidentalmente mientras haya personal en el interior, evitando atrapamientos o confinamientos en entornos de baja temperatura. En las cámaras con cierre automático o control remoto, deben instalarse dispositivos de detección de presencia y pulsadores de emergencia accesibles desde el interior, con señalización luminosa o acústica visible desde el exterior. La verificación funcional de estos sistemas debe incluirse en el plan de mantenimiento preventivo, documentándose su comprobación periódica.
- b) **Iluminación adecuada y segura:** El nivel de iluminación en cámaras, antecámaras y muelles de carga debe cumplir los valores mínimos establecidos en el Anexo IV del RD 486/1997 y en la norma UNE-EN 12464-1, garantizando al menos 100 lux en zonas de paso o almacenamiento, 200 lux en áreas de manipulación o inspección visual. Una iluminación insuficiente, combinada con el uso de capuchas, pantallas faciales o gafas antivaho, puede reducir la visión periférica y la percepción de profundidad, aumentando el riesgo de colisiones, caídas o errores de maniobra con carretillas. Una correcta iluminación contribuye a reducir la fatiga visual y mental, mejorar la coordinación motora y minimizar los errores de manipulación en ambientes fríos.
- c) **Puntos de refugio térmico:** En áreas con exposición prolongada a bajas temperaturas, especialmente cámaras de congelación, muelles y zonas de expedición, deben disponerse puntos de refugio térmico cercanos, configurados como cabinas o locales climatizados con temperatura controlada entre 18 y 22 °C, conforme a las recomendaciones de la ISO 11079. Estos espacios permiten realizar pausas térmicas programadas según los tiempos máximos de exposición (DLE – Duration Limited Exposure), recuperar el equilibrio térmico corporal, prevenir la aparición de síntomas de enfriamiento, entumecimiento o fatiga térmica, el acceso a

estos refugios debe estar claramente señalizado y mantenerse libre de obstáculos. Su uso debe controlarse mediante cronometraje o registro, especialmente en turnos de trabajo continuo o de larga duración. Se recomienda equiparlos con termómetro visible, bancos, bebidas calientes, mantas térmicas y medios de comunicación interna, de forma que puedan actuar también como puntos seguros de emergencia ante incidencias térmicas o atrapamientos.

- d)** Integración funcional de los controles de entorno: Los interbloqueos, sistemas de apertura interior, iluminación adecuada y refugios térmicos forman parte del sistema de ingeniería preventiva que permite al trabajador mantener su capacidad funcional y seguridad durante la jornada, su correcta implantación y mantenimiento reducen el riesgo de estrés térmico indirecto, ya que evitan situaciones de esfuerzo físico adicional (por manipulación forzada o pérdida de orientación) y reducen la exposición innecesaria a ambientes fríos. Estos controles deben incluirse en la evaluación de riesgos, la planificación preventiva y el plan de emergencia, asegurando su verificación en las inspecciones internas del sistema de gestión de la PRL.

7.2. Organización del trabajo

7.2.1. Rotación de tareas y pausas en zonas templadas

Programar rotaciones entre tareas frías y templadas para “romper” la carga de frío acumulada.

Definir pausas en refugio térmico conforme a DLE (ISO 11079) cuando $I_{cl} < IREQ_{neutral}$ o existan márgenes pequeños frente a $IREQ_{min}$.

Horario inteligente: concentrar tareas que exigen estáticas o precisión fina en periodos de menor severidad (menos va, menos aperturas).

7.2.2. Limitación del tiempo de exposición en cámaras de congelación

Límites de permanencia en cámaras $\leq -18/-25$ °C en función del balance $I_{cl} - IREQ$ y de la real (el viento interior eleva $IREQ$).

Trabajo por tandas con ingreso cronometrado + salida obligatoria a refugio térmico; no acumular tandas consecutivas sin pausa.

Registros de entradas/salidas para verificación (planificación, auditorías internas).

7.2.3. Protocolos ante síntomas de hipotermia/congelación

Check-list de signos: temblores persistentes, entumecimiento, piel pálida o cerosa, incoordinación, confusión.

Actuación inmediata: abandonar zona fría, recalentamiento pasivo (mantas, bebida caliente NO alcohólica), evaluación sanitaria.

Prohibición de masajes en zonas con sospecha de congelación y evitar calor directo (riesgo de lesión tisular).

Formación específica (art. 19 LPRL): reconocimiento precoz de síntomas, gestión de pausas, uso correcto de EPI.

7.2.4. Salud laboral, aptitud y factores personales

La exposición a bajas temperaturas constituye un factor de riesgo fisiológico y médico-laboral que exige una vigilancia de la salud específica, ajustada al tipo de actividad y a las condiciones ambientales del puesto.

La valoración de la aptitud del trabajador debe ir más allá del reconocimiento médico estándar, integrando criterios clínicos orientados al riesgo térmico por frío, tal como establece el artículo 22 de la Ley 31/1995 y el RD 843/2011 que regula los servicios de prevención.

La vigilancia sanitaria debe realizarse antes de la incorporación al puesto, de forma periódica y siempre que se produzcan cambios en las condiciones térmicas de trabajo o en la salud del trabajador.

A) Vigilancia de la salud específica frente al frío, los reconocimientos médicos en el sector del frío industrial deben incluir la valoración de posibles patologías o condiciones que incrementen la vulnerabilidad al frío, tales como:

- Trastornos vasoespásticos (síndrome de Raynaud, acrocianosis, hipoperfusión periférica).
- Enfermedades cardiovasculares que limiten la vasorregulación o la capacidad de esfuerzo.
- Afecciones respiratorias crónicas (asma, bronquitis, EPOC), que pueden agravarse por el aire frío y seco.
- Dermatitis o patologías cutáneas que favorecen la pérdida de calor o el riesgo de congelación local.
- Trastornos musculoesqueléticos previos que aumenten la rigidez o el dolor con el descenso térmico.

La exploración debe considerar también el estado general de la circulación periférica, el control tensional y la capacidad metabólica del trabajador, dado que estos factores influyen directamente en la tolerancia al frío.

La inclusión de una anamnesis dirigida y de pruebas complementarias (auscultación, test vascular, espirometría, etc.) permitirá determinar el grado de aptitud o las restricciones médicas necesarias.

B) Aptitud y restricciones en colectivos sensibles: conforme al artículo 25 de la LPRL, deben identificarse y protegerse especialmente aquellos trabajadores que presenten una hipersensibilidad particular al frío, como trabajadoras embarazadas o en periodo de lactancia, cuya termorregulación y metabolismo energético difieren y pueden comprometer la tolerancia a entornos de baja temperatura, personas con patologías crónicas o medicación que altere la vasoconstricción, la presión arterial o la sudoración, trabajadores con antecedentes de congelaciones, lesiones cutáneas o sensibilidad térmica anómala.

En estos casos, el Servicio de Prevención debe emitir una valoración de aptitud específica, indicando las limitaciones de exposición, la necesidad de pausas más frecuentes o incluso la reubicación temporal en zonas templadas.

La adaptación del puesto puede incluir ajuste de vestimenta, reducción de carga física, control térmico del entorno y seguimiento médico más estrecho.

C) Hidratación y balance energético: La hidratación y nutrición adecuadas son componentes críticos en la respuesta fisiológica al frío. La pérdida de agua corporal en ambientes fríos suele subestimarse, pero puede ser significativa debido al aire seco y la respiración acelerada, se recomienda

fomentar el consumo regular de bebidas calientes no estimulantes (infusiones, caldos, agua templada), evitar el consumo de alcohol o cafeína en exceso, ya que alteran la termorregulación y favorecen la vasodilatación periférica, prevenir el ayuno prolongado, garantizando un aporte energético adecuado antes y durante el turno de trabajo, una dieta equilibrada, con predominio de hidratos de carbono complejos y grasas saludables, mejora la termogénesis metabólica y aumenta la resistencia al frío, el balance energético negativo —ya sea por ayuno, esfuerzo prolongado o escasa ingesta calórica— reduce la capacidad del cuerpo para mantener la temperatura central y aumenta el riesgo de hipotermia y fatiga térmica.

D) Seguimiento médico y coordinación preventiva: la información derivada de la vigilancia de la salud debe trasladarse, de forma anónima y colectiva, al Servicio de Prevención, con el fin de adaptar las medidas técnicas y organizativas del entorno. Además, el personal médico debe coordinarse con los mandos y responsables de área para:

- Ajustar la duración máxima de exposición (DLE) en función de la aptitud.
- Definir protocolos de actuación ante síntomas de enfriamiento (temblores, somnolencia, palidez extrema).
- Registrar y analizar incidencias térmicas como parte de la evaluación continua del riesgo.

De este modo, la vigilancia de la salud no se limita a una actuación médica, sino que se convierte en un instrumento preventivo dinámico, capaz de detectar precozmente los efectos del estrés térmico y proteger a los trabajadores más vulnerables.

7.3. Equipos de Protección Individual (EPI)

Los Equipos de Protección Individual (EPI) utilizados en entornos con exposición a bajas temperaturas deben seleccionarse, dimensionarse y mantenerse de manera que garanticen una protección térmica suficiente sin comprometer la seguridad funcional ni la capacidad operativa del trabajador.

El aislamiento térmico efectivo del conjunto (I_{cl}), que incluye ropa exterior, intermedia, interior, guantes, calzado y complementos (gorros, capuchas, etc.), debe ser igual o superior al valor mínimo de aislamiento requerido ($IREQ_{min}$) establecido para la tarea y las condiciones ambientales reales, según el método definido en la norma UNE-EN ISO 11079.

No debe evaluarse una sola prenda de manera aislada, sino el conjunto completo de indumentaria, considerando los siguientes criterios:

Adecuación a la actividad: el EPI debe permitir el equilibrio entre aislamiento térmico y disipación del calor generado por el trabajo.

Compatibilidad con la tarea: se debe garantizar que el trabajador mantenga destreza manual, visibilidad y movilidad, evitando un exceso de volumen o rigidez que dificulte la ejecución segura del trabajo.

Transpirabilidad y gestión de humedad: las prendas deben favorecer la evacuación del sudor, ya que la humedad interna reduce el aislamiento y aumenta el riesgo de hipotermia.

Protección localizada: manos, pies y cabeza son puntos críticos de pérdida de calor; se requiere protección específica para cada uno.

El cumplimiento de estas normas garantiza que los EPIs ofrezcan una barrera térmica adecuada frente al frío ambiental y convectivo, contribuyendo a mantener el confort térmico, prevenir lesiones por congelación y reducir la fatiga térmica del trabajador.

7.3.1. Ropa de protección térmica

La ropa de protección térmica está diseñada para reducir la pérdida de calor corporal en ambientes fríos y mantener una temperatura interna confortable sin interferir en la actividad laboral. Su función principal es proporcionar aislamiento térmico frente al frío ambiental, las corrientes de aire y las superficies frías, equilibrando protección, transpirabilidad y movilidad.

El clo es una unidad de medida del aislamiento térmico de la ropa, definida por la norma ISO 9920. 1 clo equivale a $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, que representa el aislamiento de una persona en reposo con vestimenta de oficina en un ambiente de 21°C , humedad del 50 % y velocidad del aire de $0,1 \text{ m/s}$. La relación entre clo e I_{cl} (aislamiento térmico efectivo del conjunto) se expresa como:

$$I_{cl} = \text{clo} \times 0,155 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/w)}$$

El valor I_{cl} es el que se utiliza en los cálculos de estrés térmico por frío (UNE-EN ISO 11079) para determinar el equilibrio entre producción y pérdida de calor del cuerpo, y así definir el IREQ (aislamiento requerido) y el DLE (límite de exposición permisible).

El valor clo / I_{cl} lo encontramos en las fichas técnicas o ensayos de certificación de prendas certificadas según UNE-EN 342 o UNE-EN 14058, realizadas en laboratorios acreditados. En la norma ISO 9920, donde se ofrecen tablas orientativas de clo e I_{cl} para diferentes combinaciones de prendas (camisa + jersey + chaqueta, mono aislante, etc.). En herramientas de software o bases de datos de ergonomía térmica, que permiten estimar el clo total de un conjunto en función de las capas de ropa y condiciones ambientales.

La selección debe garantizar que $I_{cl} \geq \text{IREQ}_{\min}$ para las condiciones ambientales y tarea evaluadas.

Se puede considerar lo siguiente:

- Zonas de trabajo $5\text{--}10^\circ\text{C}$, $v_a \leq 0,3 \text{ m/s}$ → conjuntos con $\approx 2,0 \text{ clo}$ ($I_{cl} \approx 0,31 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).
- Expedición o muelles $5\text{--}7^\circ\text{C}$, $v_a 0,7\text{--}0,8 \text{ m/s}$ → conjuntos de $\geq 2,5 \text{ clo}$ y control de tiempos de exposición (en mediciones reales se detectaron márgenes térmicos negativos con $2,0 \text{ clo}$).
- Cámaras de congelación $\leq -18\text{--}-25^\circ\text{C}$ → $\geq 3,0 \text{ clo}$, limitación de DLE (Duración Límite de Exposición) y protección adicional de cabeza, cara y manos.

La eficacia del aislamiento depende tanto del espesor como del tipo de material y su capacidad para mantener el aire inmóvil dentro del tejido.

El sistema más eficiente es el multicapa:

- Material hidrófobo y transpirable (poliéster, polipropileno, lana técnica).
- Gestiona el sudor y la humedad, evitando el enfriamiento por evaporación.
- Materiales con volumen y retención de aire (loft) como forros polares, Thinsulate®, Prima-loft®, lana o fibras huecas.
- Tejidos técnicos con resistencia al viento y permeabilidad controlada al vapor de agua (índice i_m según ISO 9920).

El índice de permeabilidad al vapor (i_m) debe ajustarse para permitir la evacuación del sudor sin comprometer la protección frente al viento; un exceso de humedad degrada el aislamiento (I_{cl}) de manera significativa.

7.3.2. Guantes y botas aislantes

Las extremidades son las partes del cuerpo más vulnerables al enfriamiento por su elevada superficie de intercambio térmico y su menor irrigación sanguínea. En el entorno del frío industrial, la protección adecuada de manos y pies es esencial para evitar congelaciones locales, pérdida de destreza manual y disminución de la estabilidad postural, factores que aumentan el riesgo de accidente.

El objetivo de esta protección es mantener la temperatura cutánea por encima de 15 °C en manos y 18 °C en pies, según los límites fisiológicos de la ISO 11079, y asegurar simultáneamente un nivel operativo aceptable de movilidad, agarre y sensibilidad táctil.

Protección de manos

Los guantes de protección frente al frío deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 511, que evalúa su resistencia al frío convectivo (a), resistencia al frío de contacto (b) y permeabilidad al agua (c).

La selección del guante adecuado debe considerar:

- Temperatura ambiente y tipo de tarea (estática o manipulativa).
- Necesidad de precisión o agarre fino.
- Tiempo de exposición y frecuencia de pausas.

Se recomienda el uso de sistemas de guante combinado, especialmente en tareas que requieren alternancia entre manipulación fina y exposición prolongada:

Guante interior fino, de material transpirable o térmico (lana, acrílico o poliéster técnico), que mantiene el microclima seco y absorbe la humedad.

Guante exterior térmico o impermeable, con recubrimiento aislante y resistencia mecánica frente a abrasión o corte, certificado bajo UNE-EN 388.

Esta combinación mejora la eficiencia térmica global del sistema sin comprometer la destreza. En operaciones de carga o uso de carretillas, el guante debe permitir un agarre firme y seguro, evitando rigidez excesiva o pérdida de control.

El guante exterior debe solaparse con la manga de la chaqueta o buzo, eliminando los “puentes térmicos” que facilitan la entrada de aire frío por la muñeca. La longitud mínima de la caña se ajustará al tipo de prenda superior y a la postura de trabajo habitual.

Protección de pies

El calzado para cámaras y zonas frías debe estar certificado conforme a la EN ISO 20345 como calzado de seguridad, con el marcaje adicional “CI” que indica aislamiento al frío (Cold Insulation).

Los requisitos mínimos incluyen:

- Resistencia térmica del conjunto suela-empeine frente a una temperatura de contacto de -17°C .
- Suela antideslizante (SRC) para evitar caídas sobre hielo, escarcha o condensación.
- Impermeabilidad y transpirabilidad para mantener el pie seco y evitar pérdida de calor por humedad.

Se recomienda incorporar plantillas térmicas desmontables o de fieltro técnico, que incrementan el aislamiento sin reducir el espacio interior, así como calcetines técnicos multicapa, con buena evacuación de la humedad y ajuste anatómico.

El borde superior del calzado debe solaparse con el pantalón o mono térmico, formando una barrera continua que evite la entrada de aire frío o condensación en el tobillo.

La eficacia del aislamiento térmico depende de su estado de conservación. Guantes y calzado deteriorados, húmedos o comprimidos pierden entre un 20 % y un 40 % de su capacidad aislante, aumentando el riesgo de congelación local.

Por ello, es esencial establecer un procedimiento de secado, limpieza y sustitución periódica:

- Secado a temperatura moderada ($<40^{\circ}\text{C}$) para evitar deformación de materiales aislantes.
- Rotación de juegos de guantes y calzado para permitir su recuperación entre turnos.

Los elementos de protección de manos y pies deben seleccionarse en función del conjunto de la vestimenta térmica, garantizando compatibilidad con el resto de EPIs (pantalón, chaqueta, manguitos, buzos).

Una correcta integración evita la aparición de pérdidas de continuidad térmica o zonas de presión que dificulten la circulación sanguínea, comprometiendo la termorregulación.

En tareas que requieran precisión o uso prolongado de herramientas, debe priorizarse la ergonomía y flexibilidad del EPI, incluso si el nivel de aislamiento es ligeramente inferior, compensándolo mediante reducción del tiempo de exposición (DLE) o pausas más frecuentes en zonas templadas.

Dichos EPIs deben cumplir con:

- UNE-EN 511:2006: Guantes de protección contra el frío (convectivo y de contacto).
- UNE-EN 388:2016: Riesgos mecánicos en guantes de trabajo.
- EN ISO 20345:2012: Calzado de seguridad.
- ISO 11079:2007: Determinación del aislamiento térmico requerido (IREQ).

7.3.3. Protección facial y de cabeza en muy baja temperatura

En entornos con temperaturas extremadamente bajas ($\leq -18^{\circ}\text{C}$) o con velocidades de aire significativas (como túneles de congelación, cámaras de mantenimiento o zonas de expedición con corrientes forzadas), la protección de la cabeza y la región facial adquiere una relevancia esencial para evitar pérdidas térmicas localizadas, congelaciones y lesiones por exposición directa de la piel.

La cabeza, cuello y cara representan puntos críticos de intercambio térmico por su elevada vascularización y superficie expuesta. La disipación de calor en estas áreas puede alcanzar entre un 20 % y un 30 % del total corporal, por lo que su cobertura eficaz es imprescindible para mantener el equilibrio térmico general del trabajador.

- Pasamontañas o capuchas térmicas: fabricadas con materiales aislantes de baja conductividad y alta transpirabilidad (poliéster técnico, lana merina o fibras sintéticas tipo Thinsulate®). Deben cubrir completamente la cabeza, cuello y barbilla, permitiendo la ventilación del aire exhalado para minimizar la condensación interna.
- En zonas de congelación o con corrientes de aire superiores a 0,5 m/s, se recomienda el uso de modelos multicapa con ajuste ergonómico y costuras planas para evitar puntos de presión bajo el casco.
- Cobre-cuello o braga térmica: proporciona aislamiento adicional en la unión entre el tronco y la cabeza, evitando pérdidas de calor en el cuello y la parte superior del tórax. Es recomendable su uso conjunto con la chaqueta o el buzo térmico para mantener la continuidad del aislamiento.
- Mascarilla o protector facial térmico: en ambientes de muy baja temperatura o con aire en movimiento, la piel de la cara es extremadamente vulnerable a la congelación. Debe emplearse mascarilla térmica o media máscara de neopreno o softshell, que cubra nariz, mejillas y boca, permitiendo la respiración sin acumulación de humedad ni escarcha.

La exposición al aire frío y seco puede provocar irritación ocular, lagrimeo o visión borrosa. Por ello, deben utilizarse gafas o pantallas faciales con tratamiento antiempañante y antivaho, compatibles con el resto de los equipos de protección y adaptadas al uso en ambientes húmedos o de condensación variable.

Cuando se requiera protección simultánea frente al impacto mecánico o partículas, deberán cumplir la UNE-EN 166 (Protección ocular individual), asegurando que los materiales mantengan su transparencia y resistencia en condiciones de baja temperatura.

Los sistemas de protección de cabeza y rostro deben garantizar su compatibilidad funcional y ergonómica con el resto de los EPIs utilizados en el puesto de trabajo:

- Casco de protección (UNE-EN 397), con interior térmico o capucha compatible que no comprometa la estabilidad ni el ajuste del arnés.
- Protección auditiva (orejeras UNE-EN 352), que debe integrarse con el casco y las prendas sin generar fugas de aire frío ni interferir con la comodidad.
- Protección ocular y facial, que ha de ajustarse sin generar discontinuidades en el aislamiento térmico.

La correcta integración entre los distintos equipos es esencial para mantener la estanqueidad térmica del conjunto, evitando puntos de infiltración de aire frío que comprometan el aislamiento global.

7.3.4. Gestión y mantenimiento del EPI

El rendimiento térmico real de las prendas de protección contra el frío depende no solo de su diseño o composición, sino también del ajuste corporal, el estado de conservación y la correcta gestión de su mantenimiento. Un control inadecuado de estos factores puede reducir de manera significativa el valor de aislamiento térmico efectivo (I_{cl}), comprometiendo la seguridad y el confort del trabajador.

Tallaje y ajuste ergonómico

La ropa térmica debe seleccionarse en función del tallaje individual del trabajador y del tipo de actividad que realiza, garantizando movilidad, ventilación y estanqueidad térmica.

El ajuste incorrecto tiene efectos directos sobre la eficacia aislante. Sobreajuste o compresión excesiva, al comprimir las capas aislantes, se reduce el volumen de aire inmóvil entre fibras, provocando una disminución del valor I_{cl} y aumentando la transferencia de calor por conducción o un infraajuste o exceso de holgura genera corrientes internas de aire dentro del conjunto de ropa, especialmente durante los movimientos, lo que favorece la convección interna y acelera la pérdida de calor corporal.

Por tanto, las prendas deben ajustarse al contorno del cuerpo sin oprimir, manteniendo un equilibrio entre libertad de movimiento, capacidad aislante y ergonomía térmica.

El sistema multicapa (base, intermedia y exterior) debe permitir que cada capa conserve su espesor efectivo ("loft"), especialmente en hombros, codos y rodillas, donde la presión mecánica es mayor.

Sustitución de prendas húmedas

La humedad es el principal enemigo del aislamiento térmico, ya sea por condensación ambiental, transpiración o contacto con superficies frías.

Cuando una prenda absorbe agua o sudor, su conductividad térmica aumenta y el aire ocluido en las fibras se reemplaza por líquido, reduciendo drásticamente su capacidad aislante. Según la ISO 9920, el valor I_{cl} puede descender hasta un 50 % en ropa húmeda o mojada.

Por este motivo, deben establecerse procedimientos que contemplen la sustitución inmediata de prendas húmedas y el almacenamiento en zonas templadas o secas tras el uso, especialmente en turnos sucesivos o rotaciones prolongadas.

Plan de lavado, secado y mantenimiento

Cada prenda debe mantenerse conforme a las instrucciones del fabricante y su ficha técnica, garantizando la conservación de sus propiedades térmicas, de permeabilidad al vapor y de resistencia mecánica.

El lavado incorrecto (temperaturas elevadas, uso de detergentes agresivos o centrifugados excesivos) puede dañar las fibras internas, reducir el espesor aislante (loft) y alterar los acabados hidrófobos, provocando un deterioro progresivo del rendimiento térmico.

Se recomienda implementar un plan de lavado y secado controlado, con los siguientes criterios:

- Utilizar productos y programas compatibles con las especificaciones de la prenda.
- Garantizar un secado completo y uniforme para evitar rigidez o condensación interna.
- Verificar periódicamente el estado de las costuras, cremalleras y cierres para mantener la integridad de la barrera térmica.

Trazabilidad y control de dotación

La ropa de protección térmica forma parte del conjunto de Equipos de Protección Individual (EPI), por lo que su gestión debe integrarse en el sistema de trazabilidad y control de dotaciones del centro de trabajo.

Cada trabajador debe disponer de una identificación individualizada de su equipamiento, registrando fecha de entrega, modelo, características técnicas y revisiones periódicas.

El control del estado de las prendas —costuras, deformaciones, pérdida de espesor o daños superficiales— debe realizarse con una frecuencia establecida en el plan de mantenimiento preventivo, sustituyendo aquellas que presenten degradación visible o pérdida de rendimiento térmico.



Formación e información

8. Formación e información

La formación e información de los trabajadores constituye uno de los pilares fundamentales en la gestión del riesgo térmico por frío, dado que la eficacia de las medidas preventivas no depende únicamente del diseño técnico de los sistemas de control ambiental o de la dotación de Equipos de Protección Individual, sino también del conocimiento, la concienciación y la capacidad de respuesta del propio personal expuesto. En entornos donde las temperaturas son extremas, el factor humano adquiere una relevancia determinante, ya que un uso incorrecto de la ropa de protección, una exposición prolongada o una respuesta tardía ante los síntomas iniciales pueden convertir una situación controlada en un episodio de riesgo grave.

De acuerdo con lo establecido en los artículos 18 y 19 de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, corresponde al empresario garantizar que todos los trabajadores reciban información y formación teórica y práctica suficiente y adecuada en materia preventiva. Esta formación debe orientarse específicamente hacia los riesgos derivados del trabajo en ambientes fríos, asegurando que cada persona conozca las condiciones térmicas del entorno, los mecanismos fisiológicos de respuesta al frío, las consecuencias de una exposición prolongada y las medidas de protección disponibles. La información debe incluir, además, las instrucciones sobre el uso correcto de la ropa de protección térmica, la importancia del ajuste y el mantenimiento, la necesidad de sustituir prendas húmedas y las recomendaciones para conservar las propiedades aislantes del material conforme a las normas UNE-EN 342, UNE-EN 14058 y UNE-EN 511.

El trabajador debe comprender no solo cómo colocarse el equipo, sino también por qué su utilización adecuada resulta esencial para mantener el equilibrio térmico corporal. De igual modo, debe conocer los procedimientos de trabajo en cámaras frigoríficas, los tiempos máximos de exposición, las pausas de recuperación en zonas templadas y la forma correcta de actuar ante síntomas de hipotermia, entumecimiento o pérdida de coordinación. La formación debe incorporar referencias claras a los protocolos de emergencia y a la comunicación inmediata con los responsables de seguridad cuando se detecten fallos en el sistema de refrigeración, puertas abiertas o deficiencias en el aislamiento.

Es fundamental que esta formación tenga un carácter eminentemente práctico y que se actualice de manera periódica, especialmente ante cambios de condiciones ambientales, nuevas incorporaciones o modificaciones en la organización del trabajo. La información debe mantenerse visible en los puestos mediante señalización, cartelería y fichas informativas que recuerden los límites de exposición, la importancia del aislamiento y las pautas de actuación en caso de síntomas de frío intenso.

Asimismo, toda acción formativa debe documentarse adecuadamente, garantizando la trazabilidad de las sesiones, la asistencia de los trabajadores y la verificación de la comprensión de los contenidos. La evaluación de la eficacia de la formación puede realizarse mediante observaciones directas en el puesto de trabajo o entrevistas de retroalimentación, permitiendo detectar posibles desviaciones y reforzar la concienciación preventiva.

En definitiva, la formación e información en materia de riesgo térmico por frío no debe considerarse una obligación formal, sino una herramienta operativa que asegure que las medidas técnicas y los equipos de protección se apliquen correctamente. Solo mediante un personal instruido, consciente y comprometido puede alcanzarse una prevención eficaz, garantizando la salud térmica, la seguridad y la eficiencia operativa en las actividades desarrolladas dentro del sector del frío industrial.

8.1. Concienciación del personal sobre riesgos y síntomas

La formación debe iniciarse con un bloque de sensibilización específico sobre los efectos del frío en el organismo, orientado a que el trabajador comprenda cómo actúa este agente ambiental sobre el cuerpo humano y reconozca tempranamente los signos de riesgo. El propósito es que pueda anticiparse a los efectos adversos, aplicar medidas inmediatas de autoprotección y comunicar cualquier incidencia antes de que la exposición genere daño.

Durante esta fase formativa se debe profundizar en los efectos fisiológicos del frío, explicando de manera comprensible los mecanismos de vasoconstricción periférica, los temblores como respuesta de defensa térmica, la disminución progresiva de la destreza manual y la fatiga generalizada que se produce por el descenso de la temperatura corporal. Asimismo, es fundamental que el trabajador aprenda a identificar los síntomas iniciales de hipotermia o congelación, tales como entumecimiento en las extremidades, piel pálida o amoratada, escalofríos intensos, torpeza en los movimientos o dificultad para hablar y concentrarse. El conocimiento de estos indicadores tempranos permite actuar con rapidez, evitando la progresión a cuadros más graves.

Debe explicarse también cómo factores ambientales y personales influyen en el riesgo térmico como son la humedad incrementa la pérdida de calor por conducción, la velocidad del aire acelera el enfriamiento cutáneo por convección y el uso de ropa inadecuada o húmeda reduce notablemente la capacidad de aislamiento térmico. Por ello, es esencial destacar la importancia de la correcta elección y mantenimiento de la vestimenta térmica, asegurando que las prendas mantengan su capacidad aislante y que se utilicen conforme a las recomendaciones del fabricante y del Servicio de Prevención.

La formación debe incluir una explicación clara sobre la necesidad de respetar los tiempos máximos de exposición definidos en las evaluaciones térmicas (según el índice IREQ o metodología equivalente), así como la planificación de pausas de recuperación térmica en zonas templadas. Estas medidas permiten mantener el equilibrio entre la carga de trabajo y la pérdida de calor corporal.

En definitiva, el objetivo de esta formación es que cada trabajador se convierta en un agente activo de prevención, capaz de identificar condiciones inseguras o situaciones que indiquen riesgo por frío, comunicar de forma inmediata cualquier incidencia al responsable de turno o al Servicio de Prevención y participar activamente en la mejora continua de las condiciones térmicas del entorno laboral.

8.2. Formación en primeros auxilios específicos por frío

Los equipos de trabajo y mandos intermedios deben contar con una formación específica en primeros auxilios frente a la exposición al frío, en cumplimiento de lo establecido en el artículo 20 de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, y en el Anexo VI del Real Decreto 486/1997, relativo a los lugares de trabajo. Esta formación tiene como finalidad garantizar una respuesta rápida, eficaz y coordinada ante cualquier situación de emergencia derivada de la exposición a bajas temperaturas, asegurando la atención inmediata del trabajador afectado hasta la llegada de los servicios sanitarios.

El contenido de esta formación debe abordar, como mínimo, los procedimientos básicos de actuación ante situaciones de hipotermia y congelación. En el caso de hipotermia leve o moderada, se

debe instruir al personal en la correcta retirada del trabajador del ambiente frío, el abrigo progresivo con mantas o ropa seca, y la administración de bebidas templadas no alcohólicas, evitando en todo momento movimientos bruscos o el esfuerzo físico del afectado.

Respecto a la congelación local, la formación debe incluir pautas para reconocerla y tratarla de forma adecuada: no frotar la zona afectada, protegerla del frío y evitar la exposición a fuentes de calor directas. El trabajador debe ser trasladado lo antes posible a un centro sanitario, manteniendo la zona aislada y protegida con gasas o paños secos.

Se debe insistir en la prohibición expresa del recalentamiento rápido o directo mediante agua caliente o fuentes de calor intensas (como calefactores, estufas o radiadores), ya que esta práctica puede provocar lesiones tisulares adicionales y agravar el cuadro. En su lugar, se empleará un recalentamiento progresivo y controlado, preferiblemente en un entorno cerrado y templado.

La formación también debe abordar el uso correcto de los medios de auxilio disponibles en el centro de trabajo, como mantas térmicas, refugios calefactados o vehículos acondicionados, y la utilización de los sistemas de comunicación y aviso inmediato a los servicios de emergencia.

Por último, esta capacitación debe tener un carácter eminentemente práctico y repetitivo, con la realización de simulacros breves en condiciones reales de trabajo, que permitan a los equipos interiorizar los pasos de actuación y mantener una memoria operativa efectiva en caso de emergencia. Estos ejercicios refuerzan la capacidad de respuesta, mejoran la coordinación interna y garantizan que la asistencia inicial se proporcione con rapidez y seguridad, minimizando las consecuencias de la exposición al frío.

8.3. Protocolos de actuación ante emergencias

Toda empresa perteneciente al sector del frío industrial debe disponer de un Plan de Emergencia específico frente a riesgos derivados del frío, integrado dentro de su Plan de Emergencias general o, en su caso, del Plan de Autoprotección, conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 393/2007, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros y actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. Este plan debe adaptarse a las características particulares de las instalaciones frigoríficas y prever de manera detallada los procedimientos de actuación ante emergencias térmicas.

El documento debe incluir un procedimiento claro y operativo de evacuación o rescate de trabajadores que se encuentren en cámaras frigoríficas o zonas de baja temperatura, especialmente en situaciones de hipotermia, atrapamiento, pérdida de conocimiento o fallo eléctrico del sistema de apertura o ventilación. El protocolo debe garantizar la intervención rápida y segura del personal de rescate, evitando la exposición prolongada al frío de quienes asisten.

Asimismo, el plan debe establecer mecanismos de comunicación inmediata con el centro de control, con los servicios de emergencia internos o con los servicios externos, de modo que cualquier incidencia se comunique de forma eficaz y sin demora. La activación de las alarmas debe poder realizarse desde el interior de las cámaras y desde puntos estratégicos del recinto.

Es esencial definir la asignación de responsabilidades y funciones en caso de emergencia: determinar quién activa la alarma, quién interviene en la primera asistencia y quién coordina el traslado

sanitario o la comunicación con los servicios externos de urgencias. Este reparto de tareas debe figurar por escrito y ser conocido por todo el personal mediante formación y difusión periódica.

El plan deberá prever la existencia y correcta dotación de zonas de refugio térmico, ubicadas próximas a las áreas de riesgo, con temperatura controlada entre 18 y 22 °C, equipadas con mantas térmicas, botiquín de primeros auxilios y un dispositivo de comunicación directa (teléfono fijo, interfono o radio). Estas zonas permitirán la recuperación progresiva de la temperatura corporal de los trabajadores afectados tras una exposición accidental al frío.

Además, el personal de mantenimiento y los mandos intermedios deben estar debidamente instruidos sobre la ubicación, funcionamiento y mantenimiento de los dispositivos de seguridad instalados, tales como tiradores antipánico en las puertas de cámaras, válvulas de sobrepresión, detectores de gases refrigerantes o alarmas térmicas. Su conocimiento operativo es esencial para garantizar una actuación rápida, eficaz y coordinada ante cualquier incidente.

Por último, el plan debe contemplar el entrenamiento periódico del personal en la ejecución del protocolo, mediante simulacros programados que permitan verificar la eficacia de los procedimientos y la capacidad de respuesta de los trabajadores. Estos ejercicios deben registrarse documentalmente, incluyendo la fecha, participantes, incidencias observadas y medidas de mejora derivadas, a fin de asegurar la trazabilidad y mejora continua del sistema de emergencia frente a riesgos por frío.





Conclusiones

9. Conclusiones

El análisis integral efectuado en el conjunto de empresas del sector del frío industrial, almacenamiento y logística permite establecer una valoración técnica robusta sobre la exposición a ambientes fríos y su gestión preventiva. Los resultados obtenidos confirman que la mayoría de las condiciones térmicas evaluadas se mantienen dentro de márgenes compatibles con la capacidad de aislamiento proporcionada por la ropa de trabajo habitual, aunque se identifican áreas operativas específicas donde el riesgo térmico por frío puede alcanzar niveles significativos si no se aplican medidas compensatorias adecuadas.

Desde el punto de vista ambiental, las mediciones realizadas reflejan temperaturas secas comprendidas entre 5 y 15 °C en cámaras de conservación y zonas de manipulado, con descensos hasta -25 °C en cámaras de congelación. La velocidad del aire constituye el factor más crítico en la pérdida de calor, especialmente en muelles y expedición, donde se han registrado valores próximos a 0,8 m/s, intensificando el enfriamiento convectivo y reduciendo el margen térmico disponible. La humedad relativa presenta una amplia variabilidad, oscilando entre 30 % y 60 %, lo que condiciona la eficacia aislante de la vestimenta.

En el plano ergonómico y organizativo, se constata que los puestos con menor carga metabólica —como carretilleros, técnicos de mantenimiento y operarios estáticos— presentan un equilibrio térmico más vulnerable que los de esfuerzo moderado o alto. Esta diferencia metabólica exige una planificación diferenciada de la exposición y la implementación de pausas térmicas regulares en zonas templadas (18–22 °C) para garantizar la recuperación fisiológica y evitar la acumulación de frío corporal. El horario rotativo M–T–N y la alta frecuencia de trabajo nocturno observados en el sector agravan la fatiga térmica y la desincronización circadiana, lo que justifica la necesidad de un enfoque preventivo específico para estos turnos.

El cálculo del aislamiento requerido (IREQ), realizado conforme a la norma ISO 11079, ha permitido cuantificar de forma objetiva el nivel de protección térmica necesario. Los valores de $IREQ_{min}$ obtenidos se sitúan entre 0,21 y 0,26 m²•K/W, mientras que los $IREQ_{neutral}$ alcanzan 0,28–0,31 m²•K/W. El aislamiento real de la ropa utilizada ($I_{cl} \approx 0,31$ m²•K/W, equivalente a 2 clo) resulta, en general, suficiente para mantener el equilibrio térmico en la mayoría de los escenarios, aunque en cámaras de congelación y zonas de expedición se observan márgenes térmicos negativos (-0,01 a -0,05 m²•K/W), indicativos de riesgo potencial de estrés térmico por frío.

Estas situaciones de desequilibrio pueden comprometer la seguridad y la destreza manual del personal, aumentando la probabilidad de accidentes laborales, especialmente en operaciones de carga, conducción de carretillas y manipulación de mercancías metálicas. La pérdida de sensibilidad táctil y la vasoconstricción periférica detectadas en trabajadores expuestos prolongadamente en zonas frías refuerzan la relación directa entre el estrés térmico y los trastornos musculoesqueléticos documentados en el sector.

A nivel preventivo, se concluye que la gestión del estrés térmico por frío debe integrarse en el sistema general de prevención conforme a los principios de la Ley 31/1995, el RD 486/1997 y la ISO 11079, estructurándose en tres planos complementarios:

- Control técnico y de ingeniería: aislamiento térmico de cámaras, equilibrado de ventilación, control de humedad, puertas automáticas de alta velocidad y sistemas de monitorización

continua (data-loggers) de temperatura, humedad y velocidad del aire, con alarmas por desviación de consigna.

- Organización del trabajo: planificación de tiempos máximos de exposición (DLE), pausas programadas en zonas de refugio térmico, rotación de personal entre ambientes fríos y templados, y registro de pausas en el Plan de Acción Preventiva (PAP).
- Protección personal: selección de prendas certificadas UNE-EN 342, UNE-EN 14058 y UNE-EN 511, asegurando un $I_{cl} \geq I_{REQmin}$ y evitando puentes térmicos mediante el correcto solapamiento de guantes, calzado (marcado CI según EN ISO 20345) y prendas exteriores.

En el ámbito sanitario, la vigilancia de la salud específica orientada al frío resulta indispensable, con especial atención a patologías vasoespásticas, cardiovasculares y musculoesqueléticas. Deben considerarse las limitaciones en trabajadoras embarazadas y en personas con hipersensibilidad al frío, conforme al artículo 25 de la LPRL.

Finalmente, la formación y sensibilización del personal (artículo 19 LPRL) constituye el eje transversal de la prevención.

En conjunto, los resultados permiten afirmar que el riesgo térmico por frío en el sector es controlable, siempre que se mantenga una vigilancia continua de las condiciones microclimáticas y se apliquen estrategias preventivas integradas. La implantación efectiva de medidas de ingeniería, organización y protección personal, junto con la monitorización periódica y la participación activa de los trabajadores, garantizará la reducción de incidencias y la mejora de la salud laboral en un sector esencial pero altamente exigente desde el punto de vista térmico.





Bibliografía

10. Bibliografía

10.1. Normativa

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas.

Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre utilización de equipos de protección individual.

10.2. Normas Internacionales

UNE-EN ISO 11079:2007. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación e interpretación del requerimiento de aislamiento de la ropa (IREQ) y estimación de los límites de exposición al frío.

UNE-EN ISO 8996:2022. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica.

UNE-EN ISO 9920:2010. Ergonomía del ambiente térmico. Estimación del aislamiento térmico y resistencia a la evaporación de la ropa.

UNE-EN ISO 7726:2002. Instrumentos para la medida de las magnitudes físicas del ambiente térmico.

UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y criterios de confort térmico local.

UNE-EN 342:2018. Ropa de protección. Conjuntos y prendas para protección contra el frío.

UNE-EN 14058:2018. Ropa de protección contra ambientes frescos.

UNE-EN 511:2006. Guantes de protección contra el frío.

EN ISO 20345:2022. Calzado de seguridad. Requisitos generales y adicionales (incluye ensayo de aislamiento CI).

ISO 12894:2001. Medical supervision of individuals exposed to extreme environmental conditions.

ISO 15743:2008. Cold workplaces — Risk assessment and management.

10.3. Bibliografía científica y técnica

- Álvarez Barriga, H. (2018). Dispositivos de protección y equipos de protección individual en caso de emergencia relacionada con refrigerantes. Madrid: ALDEFE
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) (2019). Managing thermal risks at work: cold and heat stress. Bilbao: EU-OSHA.
- Evaluación médica: William H. Bland, Jr., MD, FACEP - Medicina de emergencia.
- Health and Safety Executive (HSE) (2020). Thermal environment: Working in cold conditions. Sudbury: HSE.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2015). Criterios básicos para la vigilancia de la salud de los trabajadores. Madrid: INSST.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2017). NTP 1072: Estrés térmico por frío. Evaluación mediante el método IREQ. Madrid: INSST.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2018). Vigilancia de la salud de los trabajadores. Guía para la integración en el sistema preventivo de la empresa. Madrid: INSST.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2021). Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los lugares de trabajo (RD 486/1997). Madrid: INSST.
- Lapuerta Amigo, M., & Armas Vergel, O. (2012). Frío industrial y aire acondicionado. ED. UNIVERSIDAD CASTILLA LA MANCHA.
- Laurig, W., & Vedder, J. (2015). Ergonomía. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (OIT), 110.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (serie actualizable). Protocolos de vigilancia sanitaria específica. Madrid: MSSSI / INSST.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2015). Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Cold Environments. Cincinnati, OH: NIOSH.
- SGS TECNOS. (2008). La salud laboral en los trabajadores del sector de frío industrial. 153.

CON LA FINANCIACIÓN DE:

AS2024-0037



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ECONOMÍA SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.

