

**UCF Carlos Rafael Rodríguez**

**C U M AGUADA DE PASAJEROS**

**TITULO:** " Evaluación del bienestar termal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio de Aguada de Pasajeros."

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN  
PROCESOS AGROINDUSTRIALES**

**Por:**

**Autor: Jorge Luis Leal Placía**

**TUTOR: Msc. Freddys Ramírez González.**

**AÑO 2014.**



# **Agradecimiento**

Mi eterno agradecimiento a la Revolución cubana y su sistema educacional.

A todos los que contribuyeron de una forma u otra de la realización del mismo, mencionarlo sería muy extensa su realización, por lo que de una forma sencilla y modesta manifiesto mi más sincera gratitud hacia ustedes.

En especial a mis padres que sin su ayuda me hubiese sido imposible concluir el trabajo.

A los profesores que durante 6 años han sabido dar lo mejor de si para la formación profesional de nosotros sus discípulos.

A mis compañeros de estudios, que día a día compartimos el aula y los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Una vez más gracias a todos que desinteresadamente me brindaron su apoyo.

# **Dedicatoria.**

A todos mis familiares en especial a mis padres y hermanos

A mi tutor

A la Revolución, a todos los héroes y mártires en especial al comandante en jefe Fidel Castro Ruz que nos dio la posibilidad de ampliar nuestros conocimientos a través de la tarea Álvaro Reinoso.

### **Síntesis.**

El trabajo se realizó en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros. Para la caracterización de los factores del bienestar termal industrial se siguió la metodología propuesta por Betancourt (2010). Se compararon los valores de las variables medidas en el ambiente laboral de la fábrica con la norma ISO 7933. Se aplicó, además el criterio de expertos sobre la situación actual del bienestar termal en la fábrica de azúcar. Los resultados indican que los factores del bienestar termal influyen negativamente sobre el trabajador en las áreas de trabajo que acumulan grandes cantidades de energía calorífica en el proceso de fabricación. Las áreas de trabajo de la fábrica muestran valores de los factores del bienestar termal fuera de los rangos establecidos por la norma Internacional ISO 7933 (1989), donde es aceptable a nivel de la fábrica y crítico en las áreas de trabajo: clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor. Para mejorar esta situación se requiere: analizar periódicamente la ganancia termal, rediseñar la ventilación, quitar las obstrucciones de las entradas de aire, instalación de conductos, extractores, agregar áreas de ventanales y completar la plantilla de las áreas de trabajo, identificadas con bienestar termal crítico.

## Índice.

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción. ....                                                                                                                                                                           | 1  |
| Problema de científico. ....                                                                                                                                                                 | 2  |
| Hipótesis. ....                                                                                                                                                                              | 2  |
| Objetivo general. ....                                                                                                                                                                       | 2  |
| Objetivos específicos. ....                                                                                                                                                                  | 2  |
| I. Revisión bibliográfica. ....                                                                                                                                                              | 3  |
| I.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial. ....                                                                                                                                  | 3  |
| I.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación. ....                                                                                                                                 | 19 |
| II. Materiales y métodos ....                                                                                                                                                                | 24 |
| II.1 Descripción de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros. ....                            | 24 |
| II.2 Descripción de los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros. ....         | 24 |
| II.3 Evaluación de los factores del bienestar termal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros. ....                                                         | 26 |
| 2.3.2 Criterio de expertos sobre la situación actual del bienestar termal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros. ....                                    | 27 |
| 2. Desarrollo de la segunda ronda. ....                                                                                                                                                      | 28 |
| III. Resultados y discusiones ....                                                                                                                                                           | 31 |
| III.1 Caracterización de las condiciones climáticas y de los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en el municipio Aguada de Pasajeros. .... | 31 |
| 3.3.2 Criterio de expertos sobre la situación actual del bienestar termal en la industria azucarera del municipio Aguada de Pasajeros. ....                                                  | 41 |
| Conclusiones. ....                                                                                                                                                                           | 49 |
| Recomendaciones. ....                                                                                                                                                                        | 50 |
| Reseña bibliografía. ....                                                                                                                                                                    | 51 |

## **Introducción.**

En Cuba la Agroindustria Azucarera está llamada a un profundo proceso de cambio, fundamentado en el reordenamiento y perfeccionamiento de su empresa. La realización de tan trascendentales cambios con profunda implicaciones económicas y sociales, tiene que estar basados necesariamente en el proceso científico - técnico que permite reducir al mínimo de errores las decisiones tomar en la recuperación cañera (INICA, 2001).

Dentro de los factores ambientales el hombre es un componente esencial que puede modificar los resultados en dependencia de las estrategias que imponga al proceso productivo cañero (Vega *et al.*, 2004), y que junto con los factores climáticos forman un sistema integrado que influye en gran medida en su desarrollo (Toledo *et al.*, 2008). De ahí que no solo es necesario estudiar el clima donde se desarrolla el cultivo de la caña de azúcar, sino que el microclima laboral industrial es decisivo para la obtención de elevadas producciones.

En la industria azucarera el bienestar termal es un requisito de primer orden y los factores climáticos es crucial en este vínculo. Por consiguiente, se debe hacer el máximo uso de las fuerzas favorables de la naturaleza, lo que reducirá sus efectos adversos para mejorar las condiciones de uso en nuestros edificios industriales (Betancourt, 2010).

Las condiciones diseñadas para la industria de azucarera no son en su mayoría desfavorables desde el punto de vista climático; durante los meses cuando la producción azucarera está en marcha las temperaturas aéreas son más bajas y las velocidades del viento más elevadas. Esto se debe a que la producción de azúcar en Cuba coincide con la época invernal. Por regla general, las fábricas de azúcar se diseñaron con criterios de escasa rigurosidad en el control medioambiental. Sólo se tuvieron en cuenta los requisitos tecnológicos (Betancourt, 2010).

En el municipio Aguada de Pasajeros las producciones azucareras constituyen un región importante para la economía local, sin embargo los estudios sobre la influencia de los factores climáticos en las mismas se han realizado en agro ecosistemas aislados y no se han efectuado evaluaciones sobre el microclima laboral industrial y dentro de éste del bienestar termal en los puestos de trabajo de la fábrica de azúcar, por lo que el

conocimiento de su estado actual es limitado. A partir de esta situación planteamos el siguiente:

**Problema de científico.**

¿Qué efecto tendrán, sobre los trabajadores, los factores del bienestar termal en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio de Aguada de Pasajeros?

**Hipótesis.**

La evaluación de la influencia sobre los trabajadores de los factores del bienestar termal: temperatura seca, temperatura del bulbo húmedo, humedad relativa y velocidad del aire, tanto en el exterior como en el interior de las áreas de trabajo, podrían ayudar a proponer medidas que contribuyan al establecimiento de nuevas estrategias encaminadas a mejorar el bienestar termal de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio de Aguada de Pasajeros.

**Objetivo general.**

Evaluar el bienestar termal de la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez" del municipio de Aguada de Pasajeros.

**Objetivos específicos.**

1. Describir las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros.
2. Caracterizar los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros.
3. Evaluar los factores del bienestar termal en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros.

## **I. Revisión bibliográfica.**

### **I.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial.**

#### **Tecnología azucarera**

Según Santibañez (1983) la tecnología azucarera es la ciencia que estudia los procesos que transforman la materia prima, caña de azúcar, en los productos finales como azúcares y mieles. El proceso agroindustrial de producción de azúcar de caña, explica el autor, involucra tres tipos de tecnologías, con características bien definidas y diferentes: Tecnología Agrícola, tecnología de cosecha y transporte y tecnología de producción o industrial (Carrier, 2004).

Cada proceso de producción, refiere Huggot (2005) involucra varios procesos tecnológicos. Estos son las diferentes etapas productivas, continúa explicando el, que conllevan a un cambio en el estado así como químico de la sustancia procesada. Refiere además el autor que pueden existir uno o varios procesos intermedios o tecnológicos dentro de un proceso de producción hasta obtener el producto final. Ejemplo de proceso tecnológico concluye el autor: Cuando la caña pasa a través de los molinos, se rompe la estructura original de la planta y ocurre la separación de sus componentes sólidos y líquidos (jugo y fibra).

Según Santibañez (1983) el proceso de fabricación de azúcar no es únicamente industrial, tiene componente agrícola e industrial, pues el azúcar (sacarosa), se forma en la planta conocida por caña de azúcar, durante el curso de su vida vegetativa. Refiere el autor que luego es cosechada y transportada a la fábrica, donde se le somete a la acción de un conjunto de procesos tecnológicos cuyos objetivos son aislar el azúcar. La cantidad de azúcar, continúa planteando el autor, que se obtiene por tanto depende de: la cantidad de azúcar que fabrica la caña, conocido como rendimiento agrícola o de la caña antes de ser cortada. Explica también que la cantidad de azúcar que realmente recibe la industria, está dado por la cantidad de azúcar de la materia prima y las pérdidas luego de ser cosechada. Concluye que la cantidad de esta azúcar que la fábrica es capaz de convertir en producto final (Woods, 2004).

La eficiencia del proceso agroindustrial, agrega Santibañez (1983) está definido por la fórmula:

$Ar = Ac - (Apc + Apf)$ , donde:

Ar = Azúcar que se convierte en producto final.



Ac = Azúcar producida por la planta.

Apc = Azúcar perdida en cosecha y transporte.

Apf = Azúcar perdida en los procesos de la fábrica.

Según Santibañez (1983) pueden contarse 26 procesos tecnológicos en la fabricación de azúcar de caña entre los que se pueden señalar:

Procesos agrícolas: eliminación de malezas y obstáculos, roturación del suelo, desmenuzamiento y allanamiento del terreno, surcado, siembra y fertilización, cultivo, deshierbe, control de plagas, regadío, control del crecimiento y la maduración.

Procesos de cosecha y transporte: selección de campos y ubicación de medios, corte: manual o mecanizado, alza mecanizada (corte manual), transporte: automotor o ferroviario, proceso en centro de acopio, recepción en el batey.

Procesos industriales: descarga y manipulación; preparación de la caña, molienda; purificación; calentamiento; encalado; sedimentación; filtración; evaporación; cristalización; centrifugación; almacenamiento de azúcar; generación de termo energía (vapor) y generación de electro energía (electricidad)

### **Definiciones básicas del proceso industrial de azúcar (Según Huggot, 2005)**

Brix: es la suma de todos los sólidos disueltos (azúcar y no azúcar) expresada como % en peso. Es aplicable al jugo y cualquier otra disolución que contenga azúcar. Ejemplo si en 100 partes en peso de jugo están contenidas 12 partes de sólidos disueltos y el resto (88) son de agua, ese jugo contiene 12 % de sólidos solubles, o sea, 12 grados Bx.

Para medir este valor se utiliza un hidrómetro o areómetro, concebido por el químico austriaco Brix; su escala indica o coincide con el % de sacarosa en disoluciones totalmente puras. En todo material azucarero (jugo, mieles, etc) el grado brix es siempre mayor que el valor de pol.

Mientras que en materiales de elevada pureza como los licores de una refinería la diferencia entre estos indicadores es despreciable.

Pol: Es la sacarosa contenida en una disolución, expresada como % en peso, determinado analíticamente con un polarímetro o sacarímetro.

En disoluciones puras % pol equivale exactamente a % de sacarosa, mientras que en otras impuras como el jugo de caña y las mieles, que contienen otras sustancias óptimamente activas, existe una diferencia entre estos dos valores, diferencia que será

mayor, cuanto más impura sea la disolución. Por esta razón el valor de pol es aceptado internacionalmente como sacarosa aparente.

Pureza: Es la cantidad de sacarosa contenida en 100 partes de sólidos totales, expresada en tanto por ciento.

En la práctica, la pureza aparente se calcula con los valores de pol y de brix, mediante la expresión siguiente:

$$\text{Pureza} = \text{Pol} / \text{Bri x} * 100$$

La pureza da la medida de la cantidad o proporción de impurezas disueltas en el jugo, que será necesario eliminar en procesos posteriores, de ahí su interés. Ejemplo en un jugo con 80 % de pureza habrá un 20 % de impurezas. No-Azúcares: son todas las sustancias que no son sacarosa y que forman parte del jugo de caña como sólidos disueltos. En este término se incluyen otros azúcares (azúcares reductores). La presencia de estas es indeseable para el proceso de fabricación de azúcar, por lo que será necesario eliminarlas durante los diferentes procesos tecnológicos, a los que será sometida la materia prima y materiales intermedios. En la práctica, no azúcares es simplemente la diferencia entre bri x y pol:

$$\text{No-azúcar} = \text{Brix} - \text{Pol}$$

El clima cubano

Según Alonso (2005) el clima cubano se caracteriza por temperaturas y humedades elevadas la mayor parte del año. El promedio de las temperaturas de bulbo seco máximas diarias es superior a 30 °C durante 7 meses del año, siendo el promedio anual de 30,1 °C. El promedio anual de las temperaturas de bulbo seco es menor (25,1 °C) pero en dicho promedio se incluyen las temperaturas nocturnas cuando la mayoría de los trabajadores no están trabajando. Aun el promedio de las temperaturas durante la jornada laboral diurna es engañoso puesto que el trabajador no siente el promedio sino la temperatura en cada momento y no le alivia que enero tenga un promedio de 22,4 °C cuando durante agosto la temperatura es de 33 °C En este sentido resulta más representativo el valor máximo de la temperatura que casi de manera absoluta ocurre dentro del horario laboral para la mayoría de los trabajadores (Viña, 2004).

Betancourt (2010) agrega que la humedad relativa promedio, con las mismas insuficiencias del promedio de las temperaturas, es mayor del 80% en 8 meses del año

y que en trabajos a la intemperie (construcciones, agricultura, por ejemplo) tiene fuerte influencia la radiación solar.

#### Ergonomía de las fábricas de azúcar

##### El microclima laboral en fábricas de azúcar

El microclima laboral en nuestro país es de gran importancia y constituye uno de los aspectos del ambiente laboral que más incide sobre los trabajadores. El clima cubano se caracteriza por temperaturas y humedad elevadas la mayor parte del año y estas características desfavorables del clima se ven agravadas en algunos centros laborales por razones tecnológicas, pobre ventilación y radiación solar directa o indirecta (Alonso, 2005).

En la temperatura del aire en los puestos de trabajo influyen: el equipamiento instalado (su radiación de calor), la iluminación y la cantidad de personas en el local. Esta puede estar en el orden del 30 al 150% de la temperatura ambiente del local, incluso superior a estos valores (Iglesias, 2004).

Las condiciones desfavorables de humedad y temperaturas en puestos de trabajo inciden negativamente en el trabajo de los hombres y de las máquinas sensibles al calor. En los trabajadores ocasiona molestias, incomodidad y resta la capacidad de concentración, atención y abstracción requeridas para la realización del trabajo mental. También el aire frío ocasiona molestias pues reseca las mucosas de la nariz y los ojos (Alonso, 2005).

#### Balance térmico

Según McCormick (2010) las diferentes combinaciones posibles de los factores microclimáticos provocan diferentes condiciones en los puestos de trabajo y conociendo la participación específica de cada uno de ellos y utilizando la ecuación de balance térmico es posible establecer controles sobre el microclima laboral. Donde la fórmula general de balance térmico, según McCormick (2010) es:

$$M \pm R \pm C - E = A$$

Donde:

M – generación metabólica de calor (W)

R - Intercambio de calor por radiación (W)

C – Intercambio de calor por convección (W)

E – pérdida de calor evaporación del sudor (W)

A – Calor perdido o ganado (W)

La generación metabólica de calor (M), según refiere McCormick (2010) depende del grado de actividad del trabajador y puede variar desde ser un mínimo correspondiente con el metabolismo basal (hombre  $\approx 42.9 \text{ W/m}^2$  y mujer  $\approx 40.6 \text{ W/m}^2$ ) hasta valores máximos correspondientes a la realización de trabajos pesados.

En la bibliografía existen muchos datos experimentales acerca de los consumos energéticos con los diferentes trabajos siendo uno de las más extensas la de Edholms, (1967) quien refiere que cuando no se dispone de datos experimentales pueden emplearse valores estimados, según este método la carga térmica debida al trabajo se calcula sumando A (función de la posición y el movimiento del cuerpo) y B (función del tipo de trabajo) y para determinar la generación metabólica total se suma el metabolismo basal a los términos A y B.

El intercambio de calor por radiación (R) según George (2006) depende de la diferencia entre las temperaturas de las superficies que circundan al trabajador y la temperatura de la piel (aproximadamente  $35^\circ\text{C}$ ). Explica también que si la temperatura de las superficies es menor que la de la piel, el trabajador pierde calor por convección. Concluye George (2006) que matemáticamente R se determina por la siguiente expresión:

$$R = 4.4 (TMR - 35)$$

Donde

R – Intercambio de calor por radiación ( $\text{W/m}^2$ )

TMR – Temperatura media radiante ( $^\circ\text{C}$ )

El intercambio de calor por convección (C) según Blanchene (2004), depende de la diferencia entre el aire que rodea al trabajador y su piel. Si la temperatura del aire es menor continúa el autor, pierde calor por convección. Matemáticamente, refiere Blanchene (2004), C se determina por la siguiente expresión:

$$C = 4.6 V a^{0.6} (t_s - 35)$$

Donde:

C – Intercambio térmico por convección ( $\text{W/m}^2$ )

Va – Velocidad del aire

ta – Temperatura del aire o seca ( $^\circ\text{C}$ )

Según Edholms (1967) la velocidad relativa entre el aire y la piel determina la magnitud de la ganancia o pérdida de calor, siendo mayor a medida que aumenta la velocidad. La pérdida de calor, refiere Edholms (1967), por evapotranspiración del sudor (E) se debe básicamente a la evaporación del sudor sobre la piel del trabajador y depende de:

- Cantidad de líquido que puede sudar un trabajador (se permite perder un máximo de  $390 \text{ W/m}^2$ );
- De la humedad del aire (si es muy elevada el sudor no se evapora)
- La velocidad del aire sobre la piel (favorece la evapotranspiración del sudor).

La evaporación requerida ( $E_{req}$ ), explica Carson (2004) es la cantidad de calor que debe expulsar el organismo por medio de la evapotranspiración del sudor para lograr el equilibrio térmico y se determina por la siguiente expresión:

$$E_{req} = M \pm R \pm C \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Factores del microclima laboral

Temperatura del aire

Según Alonso (2005), la temperatura del aire también llamada temperatura seca o temperatura del bulbo seco, es la temperatura que no está afectada por el contenido de vapor de agua en el aire. Continúa expresando que se mide usando un termómetro corriente cuyo bulbo debe estar expuesto al aire pero protegido de la radiación infrarroja con una pantalla adecuada.

Humedad relativa:

Refiere Brunt (2004) que la humedad relativa es la expresión en % de la cantidad de vapor de agua existente en un volumen cualquiera de agua y la que habría si ese volumen estuviera completamente saturado de vapor de agua, se puede determinar conociendo la temperatura seca y la temperatura húmeda en la carta psicométrica.

Temperatura del bulbo húmedo:

Alonso (2005), explica la temperatura del bulbo húmedo es la temperatura que está afectada por el contenido de vapor de agua del aire que se mide utilizando un termómetro corriente cubierto con una camiseta de algodón humedecida con agua y protegida de la radiación térmica.

Velocidad del aire:

Carson (2004) explica que la velocidad del aire es la velocidad del aire sobre la piel del trabajador, tiene un efecto importante sobre el intercambio térmico del trabajador con el ambiente y se mide con diferentes tipos de anemómetros.

Radiación térmica:

La radiación térmica según Douglas y Lee (2003) es una radiación electromagnética, donde todos los cuerpos la emiten en la banda infrarroja. Puede tener origen natural (radiación solar directa o indirecta) o artificial (equipos o productos calientes). Se mide con el termómetro de globo.

Temperatura media radiante:

La temperatura media radiante según Douglas y Lee (2003) es la que en un puesto provoca el calor radiante emitido por la superficie de los cuerpos existentes y se determina por la expresión siguiente:

$$(TMR + 273)^2 = (tg - 273)^4 + 1.4 \sqrt{Va} (tg - ts) 10^6$$

Donde:

TMR – temperatura media radiante (°C).

tg – temperatura del globo (°C)

Va - velocidad del aire (m/s)

ta - temperatura del aire o seca (°C)

Donde la temperatura del globo (tg) según George (2004) es un indicador de la radiación térmica que se mide con un termómetro de globo consistente en tener el elemento sensible ubicado en una esfera hueca de cobre de 15 cm de diámetro pintada de negro mate y llena de aire.

Velocidad del aire (Va):

González, (2008) refiere que la velocidad del aire (Va) es la velocidad del aire sobre la piel del trabajador (que es la que nos interesa) dependerá también de la velocidad con que se mueve el hombre. Aun cuando los instrumentos no sean capaces de captar movimientos del aire, la velocidad del aire no se considera cero, sino que se asume que la velocidad del aire no será menor de  $0.205 \text{ m.s}^{-1}$ . El instrumento utilizado para calcular la Va es el anemómetro.

Metabolismo (según MINSAP, 2005):

El Metabolismo a través de él se libera toda la energía que necesita el organismo. Parte es liberada para mantener la temperatura de nuestro cuerpo y parte para la

realización de todas las funciones vitales incluyendo la realización del movimiento. En actividades donde se involucran grandes grupos musculares que es donde hay un mayor aprovechamiento del trabajo externo, solo alcanza valores entre 20 y 25% de toda la energía liberada y el resto se transforma en calor.

Termorregulación (según MINSAP, 2005):

El mantenimiento de la temperatura interna del cuerpo dentro de un intervalo muy estrecho es esencial para la vida y capacidad de trabajo.

Temperatura Corporal 

- Interna (37.6°C - 41°C)
- Superficie de la piel (más amplia en dependencia de las condiciones climáticas).

El ser humano se encuentra toda la vida a unos 4-5°C de un grave accidente térmico o la muerte. Si los accidentes térmicos no son muy frecuentes, esto se debe a los eficientes mecanismos de termorregulación con que cuenta nuestro organismo. No obstante si las condiciones de microclima laboral no favorecen un adecuado intercambio térmico se desarrolla una tensión fisiológica que incide en el bienestar del trabajador y afecta su salud en los casos más críticos (según MINSAP, 2005).

El mantenimiento de la temperatura corporal interna depende de que se logre equilibrar las ganancias y las pérdidas de calor del cuerpo.

Sistema Cardiovascular (según MINSAP, 2005):

La sangre sirve de refrigerante de todos los órganos internos y los músculos, donde se genera el calor metabólico, este calor lo transporta a los capilares que se encuentran en la piel y allí se disipa hacia el ambiente.

Si el ambiente es caluroso ocurre:

Vaso dilatación periférica (se dilatan los capilares y aumenta el flujo de sangre hacia la piel lo que implica que puede llegar a sudar en una jornada de 7 a 8 que equivale a 50 kg de peso.

Evaporación de la sudoración. Cuando se expone al frío:

Vaso contracción periférica (los capilares se contraen para evitar la salida del calor del cuerpo.)

Temblores y escalofríos (ejercicio que incrementa la práctica de calor metabólico.)

Balance Hídrico (MINSAP, 2005):

Una pérdida de 1.5 kg de agua reduce el volumen sanguíneo, la sangre se torna más densa y viscosa aumentando el trabajo cardíaco. Se eleva el pulso y la temperatura interna experimentando sed y malestar, por lo tanto es imprescindible garantizar la reposición de agua en la jornada laboral.

Es necesario tratar de aclimatar o acostumbrar en varios días al trabajador a actividad calurosa.

Balance Térmico (MINSAP, 2005):

El clima cubano se caracteriza por poseer temperatura y humedad alta durante todo el año.

tbs: > 30.6 °C 7 meses al año.

HR: > 80% 8 meses del año.

Estas características desfavorables del clima se ven agravadas en muchos centros de trabajo por:

- Equipos y productos en proceso a altas temperaturas.
- Generación de vapor.
- Deficiente diseño de edificaciones.
  - . Pobre ventilación.
  - . Radiación solar directa.

Es muy importante tener en cuenta, que todas las mediciones de los factores micro climáticos son válidas solo para el punto donde fueron tomadas y para ese instante.

Norma cubana A. Cakir. Parámetros recomendados Según Betancourt, (2010):

| Factor                                 | Rango recomendado |        |
|----------------------------------------|-------------------|--------|
|                                        | Invierno          | Verano |
| Temperatura (°C)                       | 21-23             | 26-28  |
| Humedad relativa (%)                   | 30-55             | 30-55  |
| Velocidad del aire (m/hora/trabajador) | 30-50             | 30-50  |

## I.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación

¿Qué se entiende por ambiente laboral?

Según la Brunt (2004) se define como el conjunto de factores del medio exterior que



intervienen en el puesto del trabajador.

El ambiente laboral, refiere Hawasaki (2005), está constituido por todos los factores objetivos que de una forma u otra influyen sobre el trabajador durante sus actividades laborales. El microclima, el ruido, la iluminación, las radiaciones de todo tipo, las vibraciones, la contaminación ambiental, los métodos de trabajo, las relaciones humanas dentro del colectivo laboral y muchos otros factores, componen un complejo sistema que actúa integralmente sobre el hombre durante 8 horas diarias como mínimo durante toda su vida laboral y que repercute en todas sus actividades extra laborales, incluyendo el descanso (Viña, 2005).

El trabajador reacciona ante ese ambiente laboral de formas muy variadas y complejas, en dependencia de un gran número de factores subjetivos que por supuesto no pueden ser pasados por alto, pues de esta interacción entre el hombre y su ambiente laboral dependen su satisfacción, su salud, la calidad de su trabajo y su productividad (Viña, 2002).

Según Betancourt (2010) pueden diferenciar tres niveles en los valores de los factores del ambiente laboral:

- 1.- Optimo: define condiciones de comodidad para los trabajadores.
- 2.- Aceptable: aparecen algunas manifestaciones que provocan malestar en los trabajadores pero que no tiene efectos adversos para la salud.
- 3.- Crítico: De ser excedido provocaría la afectación de la salud de los trabajadores.

Refiere Betancourt (1983) que es la obtención del nivel óptimo a lo que se debe aspirar, aunque en ocasiones solo sea posible alcanzar los niveles aceptables, donde las características del ambiente que con mayor frecuencia se deben controlar son:

- 1.- Temperatura del aire
- 2.- Humedad
- 3.- Velocidad del viento
- 4.- Radiaciones electromagnéticas de origen natural producidas por el sol (infrarrojo, visible y ultravioleta).
- 5.- Radiaciones electromagnéticas de origen artificial (en todo el espectro electromagnético).
- 6.- Contaminación ambiental (fundamentalmente impurezas del aire).

7.- Sonido

8.- Vibraciones

9.- Aceleración

10.- Presión atmosférica

Las cuatro primeras, refiere Betancourt (2010), integran el clima de la zona geográfica y aún en sus valores naturales pueden no ser favorables para el trabajo.

Plantea Cardiergoes (2006) que se denomina microclima a aquella zona o parte de nuestro clima que está presente en nuestra área de trabajo y que está influenciado por las características propias del trabajo que se realiza, ejemplo de esto es el calor que se puede generar en una fundición o el frío en una cámara de refrigeración.

Viña (2004) explica que en nuestro microclima laboral influyen las condiciones climáticas de una región geográfica y lo cual a veces resulta decisivo en la determinación de las condiciones en que se desarrolla el intercambio térmico hombre-ambiente.

Cuando el trabajo se desarrolla en locales cerrados al menos parcialmente, asegura Carson (2004), la acción del hombre puede reducir la severidad de las condiciones climáticas, sin embargo, si el trabajo se desarrolla a la intemperie como la agricultura, la influencia del clima es determinante en el intercambio térmico.

El bienestar termal en las fábricas

El bienestar termal es un requisito de primer orden y los factores climáticos es cruciales en esta conexión. Por consiguiente, haremos el máximo uso de las fuerzas favorables de la naturaleza, lo que reducirá sus efectos adversos para mejorar las condiciones de uso en nuestros edificios industriales (Betancourt, 2010).

Los factores siguientes, según refiere Douglas y Lee (2003) son importantes para el bienestar termal:

1. *Factores fisiológicos y psicológicos*: la temperatura, la temperatura del aire sobre la piel del trabajador, así como la aclimatación dentro de los factores psicológicos.
2. los factores climáticos como se referido a la Latitud, Relieve, Orientación y Vegetación: La temperatura aérea, presión de vapor, movimiento aéreo, humedad, radiación solar y nubosidad.

3. otros factores externos: la ropa, la situación de estación de trabajo, la radiación termal de equipo, los motores, la iluminación, fuentes de emanación de calor y los materiales utilizados en la construcción.

Sugiere Carrier (2004) que los valores máximos de temperatura eficaz para ser tenidas en cuenta para el plan de temperatura de los cuarto en las fábricas de azúcar debe ser 27.5 °C que según las condiciones prevaleciendo a una temperatura del bulbo seco de aproximadamente 30°C.

Las condiciones diseñadas para la industria azucarera explica Betancourt (2010) no son en su mayoría desfavorables desde el punto de vista climático; durante los meses cuando la producción azucarera está en marcha las temperaturas aéreas son más bajas y las velocidades del viento más elevadas. Esto se debe a que la producción de azúcar en Cuba coincide con la época invernal. Por consiguiente, podemos concluir que la desventaja más grande de las fábricas de azúcar analizadas se origina en el interior, no en la fuente termal exterior (Viña *et al.*, 2005).

Podemos establecer que las condiciones interiores son impuestas, además, por las incidencias de la tecnología y los factores climáticos en mayor o menor grado, dependiendo de las soluciones aplicadas en la construcción y micro localización de las fábricas, por todo lo cual se observa poca área de ventanaje, elevada altura del techo con los amonestadores cerrados (algunos con el cambio de altura sólo), las paredes y tejados con los materiales de coeficientes altos de transmisión termal (acero, cinc, etc.). Además, para favorecer las condiciones meso climáticas en la instalación no se tuvo en cuenta las ventajas de orientación (Viña 2005).

Por regla general, asegura Betancourt (2010) estas fábricas se diseñaron con criterios de escasa rigurosidad en el control medioambiental. Sólo se tuvieron en cuenta los requisitos tecnológicos.

La necesidad de mejorar las condiciones en las fábricas de azúcar, según refiere Iglesias (2004), pueden encontrar las soluciones adecuadas a partir de: la reducción de la incidencia de tecnología en el bienestar termal a través de medidas como las insolaciones adecuadas en los procesos de equipamiento y de entubando, transmisión directa a la atmósfera exterior de las fuentes de calor (es decir, los motores eléctricos o de vapor y sus descargas, los motores eléctricos de consumo de poder alto, etc.).

Los bocetos de trabajo deben realizarse después de evaluar las condiciones existentes, aprendiendo del equilibrio termal, analizando las situaciones geográficas, la conducción termal de pared, componentes del tejado y las áreas del ventanaje (Davitaya y Trannsov, 2004).

Consideraciones acerca de los métodos de refrescamiento aéreo

Según MINTRAB (2004), la capacidad de trabajo de los obreros, y su expectativa de vida pueden reducirse por una ventilación defectuosa, donde la importancia de movimiento aéreo se ignora a menudo, o no es apreciada por muchos.

El aire interior puede refrescarse usando un sistema del aire acondicionado o natural y/o ventilación mecánica, donde en los sistemas de climatización el suministro aéreo para un espacio habitado se adapta a las condiciones requeridas a través de: su limpieza, refrescamiento, calentamiento, drenaje y humidificación (Carson, 2004).

A través de estos procesos es posible obtener cualquier tipo de condiciones climáticas que se requieran. Sin embargo esto demanda una inversión más alta y elevado costo de operación, que un proceso que usa el aire exterior sólo sin ningún tipo de procesamiento (Brunt, 2004).

La ventilación implica el suministro de aire fresco, libre de contaminantes, que se calienta, y se refresca a través del movimiento aéreo (Sprenger, 2005).

El ventilación natural proporciona las condiciones medioambientales aceptables a un costo bajo, lo que se aplica a industrias que llevan a cabo sus procesos en edificios que no requieren condiciones de climatización media como es el caso en la industria azucarera (Henn (2004)).

Sin embargo, tanto el personal como los equipos de control tecnológico, y ciertos instrumentos de mando automático, requieren del climatización para lograr la precisión que se propone (Woods, 1965).

Para estimar los requerimientos de ventilación deben tenerse en cuenta los siguientes factores (Según Viña 2010):

1. Condiciones microclimáticas.
2. Diseño de construcción.
3. La ganancia de calor de varias fuentes.
4. Las fuentes de contaminación.

Dependiendo de la actividad del funcional del edificio, refiere Humbert (2004) estos factores tienen más o menos peso en el diseño de las condiciones interiores para el uso de los sistemas de ventilación naturales, donde solo se pueden usar los valores de refrescamiento aéreo que aparecen tabulados en la literatura especializada.

De acuerdo con ICPL (2004) para reunir estos requisitos en la industria del azúcar debemos hacer las consideraciones siguientes acerca de la ventilación:

1. Cada edificio será visto según sus características y las condiciones del proceso o la función a que se destinará, determinando la ganancia termal.
2. En todos los casos la ventilación debe diseñarse de tal una manera que, por medio del Efecto de la Chimenea, el refrescamiento aéreo logrado en el interior se mantenga en el rango de temperatura fijado.
4. La entrada y aperturas de las toma de corrientes aéreas no deben ser obstruidas por las instalaciones, los edificios, los árboles, las tablas, etc.,
5. Para obtener la ventaja máxima de la diferencia de temperatura a producir por el movimiento aéreo, el diseño de construcción debe ofrecer la diferencia más grande posible entre el nivel de la entrada y las aperturas de las tomas de corriente aéreas.

Análisis de las Ganancias Termal en las Fábricas de Azúcar en las Estaciones Tecnológicas.

Factores tecnológicos:

Refiere Jaén (2005) ellos están directamente relacionados al área del proceso, donde de nuestras demandas de fuerza de trabajo depende de: los niveles de construcción, el número y las características del equipamiento, la orientación obligatoria de las áreas y los requerimientos de energía para los procesos industriales que tienen lugar en ellos.

Refiere Betancourt (2010) del análisis realizado en la casa de máquinas, la carga de calor que se desprende del equipamiento instalado representa por la noche aproximadamente el 30% y el 75% de la ganancia total durante el día, también en las áreas de proceso tecnológico como el tándem de molinos el valor alcanza el 35% en el día y el 97% durante la noche.

Se desprende que esa ganancia termal aportada por el equipamiento y la maquinaria puede ser eliminada con la instalación de conductos y extractores, agregando áreas de ventanaje, etc. (Huggott, 2005).

La radiación solar:

Refiere Meina (2006) las temperaturas interiores son afectadas por la radiación solar debido a que pueden subir 5°C en el ambiente de trabajo desde las paredes expuestas a dichas radiaciones.

Esa influencia del efecto de radiación solar es mayor en las estructuras bajas, anchas que en los edificios delgados (Cardiergoes, 2006 y Sprenger, 2005).

El grado de Ocupación

Este coeficiente es generalmente bajo. En la casa de máquinas muestra un promedio de 135 m<sup>2</sup> por trabajador. Por consiguiente, este factor es insignificante y puede ser depreciado (Sprenger, 2005).

La Iluminación artificial

De acuerdo a Mitsubishi (2004) el calor originado de poder manejado los dispositivos eléctricos a menudo se transfiere y llega a formar parte de la energía termal del lugar, donde aproximadamente con los tubos del fluorescente se transforman 20% de la energía en calor, y con las bombillas incandescentes solo se obtienen un 10%; a través de la radiación emiten entre el 80% y el 90%, respectivamente, en que estos valores pueden tomarse como representativos de cualquier unidad eléctrica en uso.

Indica Monce (2004), los aparatos eléctricos producen aproximadamente 850 kcal.h<sup>-1</sup> para cada kilovatio de potencia instalado y por consiguiente, se recomienda que los reemplazos se hagan para instalar luminarias con una elevada conversión de energía eléctrica en Luz.

La energía acumulativa Monce (2004) explica que las consideraciones anteriores han sido hechas asumiendo que el calor que entra en los puestos de trabajo de las varias fuentes es el absorbido e inmediatamente eliminado; sin embargo, muchas fuentes de calor transmiten parte de la energía inicialmente en forma de radiación, a las paredes, suelos y techados, la cual es absorbida en ciertas medida por estos y que debido a este fenómeno, el calor en el interior puede ser al principio bajo, pero después la propia acumulación puede hacerlo perceptible en el medio. Este resultado se aplica a la radiación solar, luminarias y a otras formas de acumulación de calor, que mencionadas anteriormente, aunque esto no es significativo en el suministro total de la energía termal que se recibe en las fábricas de azúcar (Woods, 1970).

Análisis de ventilación natural.

La Fuerza del Viento.

Refieren *Viña et al. (2005)* que la fuerza del movimiento aéreo es un factor sumamente variable, lo cual se basa en parámetros tales como: la orientación y velocidad del viento; la estación del año, el día y el periodo del día.

Al calcular por este sistema se recomienda que los promedios de temperatura y velocidad del viento se tomen durante los meses invernales. Sin embargo, los valores de velocidad de viento durante estos meses no son estables durante el día. Si tomamos de estos valores el 50%, podemos asumir que para la mayoría de los días y horas del mes están fuera del contorno de la dispersión (*Viña et al. (2005)*).

También prevalece una considerable influencia sobre la dirección de los vientos, donde diariamente se producen variaciones que se deben principalmente a los exteriores longitudinales de la construcción. De ahí que se tomen los factores de eficacia de 0.6, para los vientos perpendiculares, a 0.25, para los vientos inclinados (*S. A., 2004*).

La diferencia en la temperatura y el efecto chimenea

Según Betancourt, (1983) el movimiento aéreo afecta los rangos de temperatura que se conoce como el Efecto Chimenea, que se debe a la diferencia de densidad entre las masas de aire interior caliente y las masas de aire exteriores más frescas.

El diseño de la ventilación a través de la diferencia de temperatura tiene gran importancia en las fábricas de azúcar debido a que se caracterizan por producir una gran generación de calor en su tecnología. También está favorecido por el tipo de construcción que presenta techos altos con tejas de zinc en las alturas. Los cambios básicos a considerar son: la diferencia en la temperatura entre el interior y el exterior que en nuestro caso especificamos como una temperatura apropiada para el diseño interior de 27.5 °C, lo que aproximadamente equivale a 25°C registrada en el bulbo húmedo o 30°C en el bulbo seco y la diferencia entre la altura de la entrada y de la salida de la corriente de aire, las que dependen principalmente de los planos arquitectónicos y civiles (*Viña et al., 2005*).

Diseñando en base a la diferencia de temperatura estamos asegurando prácticamente que el refrescamiento aéreo requerido se obtendrá sin tener en cuenta las condiciones de la velocidad del viento en el exterior (*Viña et al., 2005*).

Efecto combinado de la temperatura y el viento

El estado general de la ventilación natural es un efecto donde se unen la temperatura y el viento, pero no es la suma de ambos. Con valores aproximadamente iguales se obtiene un incremento del 10% de refrescamiento, pero este porcentaje decrece rápidamente si un valor crece sobre el otro, lo que conlleva a que el valor más elevado prevalezca (Iglesias, 2004).

### **1.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación.**

De los análisis anteriores se deduce que estas modificaciones exigen grandes cambios y elevados costos, pero se justifica si somos capaces de tener las áreas muy termales identificadas. Debido a que el mantenimiento de condiciones buenas para la fuerza de trabajo es esencial.

Se ha podido comprobar como las condiciones ambientales que rodean al hombre, repercuten directamente sobre el mismo, ya sea positiva como negativamente, por ejemplo: aumento y disminución de la productividad, del grado de fatiga, enfermedades, otras. Por ello reviste gran importancia el estudio y control del ambiente de trabajo para poder garantizar condiciones laborales que no afecten los trabajadores (Orlov, 2003).

¿Qué es la sobrecarga térmica? Condición desfavorable por calor

Según (Alonso, 2005) provoca tensión térmica los ambientes calurosos pero secos se soportan mejor porque el trabajador tiene mayor probabilidad de mantener el equilibrio térmico gracias a la evaporación del sudor. Refiere también que debe quedar claro que no es la sudoración lo que disipa calor del organismo sino la evaporación y que en ambiente húmedo el sudor gotea y no se evapora sobre la piel por lo que el mecanismo de intercambio térmico se hace ineficiente.

Estos valores de intercambio térmico, concluye, se realizan con superficie corporal (Alonso, 2005):

SC: 1.8 {Nomograma de SC} talla, peso

El tipo de vestuario se especifica según aislamiento térmico en Clo (  $1 \text{ Clo} = 0.155^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{w}$  )

0.5 Clo : Corresponde a ropa ligera de trabajo.

1 Clo : Traje o abrigo.

Las condiciones microclimáticas permisibles ==> para locales donde no hay influencia del calor de radiación es decir,  $t_g > t_{bs}$  ==> no mayor de  $2^\circ\text{C}$ .



Las diferencias individuales influyen en el intercambio térmico:

- 1.- Capacidad de trabajo ==> A menor Ct más difícil soportar la sobrecarga térmica.
- 2.- Constitución física ==> Los obesos más difícil soportar la sobrecarga térmica.
- 3.- Sexo ==> Las mujeres más difícil soportar la sobrecarga térmica.
- 4.- Aclimatación ==> A mayor aclimatación más soporta.
- 5.- Color de piel.
- 6.- Edad.
- 7.- Vestuario.

Viña (2005) explica que para evaluar el microclima los índices fundamentales son:

- 1.- Índices de confort térmico.
- 2.- Índices de sobrecarga térmica.
- 3.- Indicadores de la tensión térmica.

La cantidad de calor generado explica Alonso, (2005) en estado de reposo depende de la superficie corporal, del sexo y de la edad del individuo. Para el hombre adulto, continúa el autor, el promedio es de  $42.9 \text{ W/m}^2$  ( $37 \text{ Kcal/m}^2\text{-h}$ ) y para la mujer adulta el promedio es de  $40.6 \text{ W/m}^2$  ( $35 \text{ Kcal/m}^2\text{-h}$ ).

En condiciones favorables del microclima, este calor es suficiente para mantener la temperatura interna del cuerpo a unos  $37^\circ\text{C}$ , equilibrando las pérdidas de calor por convección y radiación. La generación de calor aumenta con la realización del trabajo muscular, debido a la baja eficiencia mecánica de dicho trabajo, que puede variar entre cero, para el trabajo estático, hasta un máximo de 20 - 25% en los ejercicios más eficientes como el pedaleo en un veloergómetro (Iglesias, 2004).

De manera que entre el 75 y el 100% de la energía consumida por un individuo al trabajar se convierte en calor, que debe ser disipado para evitar que la temperatura interna del cuerpo se incremente. Si las condiciones del microclima laboral son favorables, aún el calor excedente se puede disipar por convección y radiación. Para un trabajo pesado sería necesario que la temperatura de bulbo seco del aire estuviera entre  $18,8$  y  $13,5^\circ\text{C}$  para que el individuo se sintiera bien (Viña *et al.*, 2005).

Si la temperatura del aire es mayor, por ejemplo,  $25^\circ\text{C}$ , los mecanismos reguladores de la temperatura del cuerpo provocan el aumento del riesgo sanguíneo de la piel para favorecer la transferencia de calor al aire. Simultáneamente se provoca la sudoración, que al evaporarse sobre la piel, elimina el calor excedente

para restablecer el equilibrio térmico del individuo. Se dice entonces que la sobrecarga térmica existente determinó una tensión térmica en el individuo al tener este que hacer cambios en la distribución del flujo sanguíneo y comenzar a sudar, para mantener el equilibrio térmico (Alonso, 2005).

La temperatura del bulbo seco del aire no es el único factor que interviene en el intercambio térmico entre el individuo y el ambiente; también son importantes la velocidad del aire sobre la piel, la humedad del aire, la temperatura media radiante existente en el puesto de trabajo y la ropa que usa el trabajador (Iglesias, 2004).

Si la temperatura media radiante y la del aire son mayores que la de la piel, aproximadamente 35°C, el individuo en lugar de perder calor por radiación y convección, comienza a ganar calor por estos mecanismos de transferencia térmica; dependiendo entonces el equilibrio térmico de la evaporación del sudor sobre la piel, siendo por tanto la tensión térmica muy alta. Si además, la humedad del aire es alta, el sudor no se evapora completamente sobre la piel y entonces no es posible mantener el equilibrio térmico, incrementándose la temperatura interna del cuerpo con posibles consecuencias graves para el individuo (Iglesias, 2004).

Entre las variables fisiológicas que se pueden utilizar para evaluar el grado de tensión térmica de un trabajador están: la temperatura interna del cuerpo, el ritmo cardíaco y la pérdida de peso por sudoración (Woods, 2004).

La temperatura interna no se incrementa para tensiones térmicas moderadas, pero sí lo hace para una tensión térmica elevada, por lo que es útil para establecer límites máximos permisibles de tensión (de 38,8°C a 39°C, según diferentes autores). Su determinación presenta dificultades prácticas y molestias al sujeto del experimento, pues su medición exacta es necesaria efectuarla en el recto o en el esófago. Una aproximación de más fácil obtención es la temperatura sublingual, siempre que se tenga precaución de no respirar por la boca o hablar durante la medición, o de no tomar alimentos fríos durante un tiempo de varios minutos anteriores a la medición (Viña *et al.*, 2005).

El ritmo cardíaco es un buen indicador, incluso para tensiones térmicas ligeras y moderadas, puesto que el incremento del riego sanguíneo de la piel requiere un aumento del ritmo cardíaco. Si se conoce el ritmo cardíaco de un individuo al

realizar un trabajo en condiciones favorables de intercambio térmico es posible evaluar la tensión térmica, si se mide el ritmo cardíaco al realizar el mismo trabajo en condiciones de sobrecarga térmica (Woods, 2004).

El ritmo cardíaco es útil para fijar límites permisibles que integren los efectos de la tensión térmica y la carga de trabajo. Si se acepta un límite de 30 - 40 pulsaciones sobre el ritmo cardíaco de reposo para un trabajo de 8 horas de duración, la existencia de sobrecarga térmica reduce automáticamente la intensidad máxima del trabajo que se puede realizar y por lo tanto el calor metabólico que se generará (Monce, 2004).

La forma de medición y las desventajas del ritmo cardíaco aparecen en la práctica de carga de trabajo físico (Alonso, 2005).

La pérdida de peso por sudoración es un buen indicador, siempre que el sujeto esté aclimatado a las condiciones de sobrecarga térmica, para lo que se requiere que la exposición se haya repetido durante un mínimo de 5 - 7 jornadas laborales consecutivas, puesto que en las primeras exposiciones el individuo, por no estar aclimatado, no suda lo necesario, pudiendo entonces subestimarse la tensión térmica (MINTRAB, 2004).

Su determinación es muy simple, siempre que se cuente con una balanza con una precisión no menor de 50 g, haciendo una pesada antes y otra al final de la exposición, añadiendo el peso de los líquidos y otros alimentos ingeridos durante el tiempo de exposición. El límite permisible recomendado varía según los diferentes autores, pero no parece conveniente sobrepasar los 500 gramos por hora.

La evaluación de la sobrecarga térmica es muy compleja, esto se debe a la gran cantidad de factores que intervienen en el intercambio térmico. En la norma mencionada al inicio de la práctica (NC 19-01-03) se establecen los valores de los factores para las condiciones microclimáticas óptimas, permisibles y críticas. También se han desarrollado diversos indicadores que tratan de integrar varios de estos factores (MINSAP, 2005).

Como la eficiencia mecánica de la mayoría de las actividades laborales es baja, con frecuencia se asume que todo el calor metabólico se disipa sobre la superficie del trabajador, pero si se conoce la eficiencia mecánica es conveniente deducir del calor metabólico el trabajo mecánico realizado. Por ejemplo, en el trabajo en el

veloergómetro se disipa en el freno del 20 al 25% del calor metabólico, por lo que el individuo solamente debe disipar del 75 al 80% restante (Woods, 2004).

Estimaciones del calor metabólico menos precisas pero prácticas, se pueden obtener de tablas de gasto energético determinadas para individuos típicos, realizando una gran cantidad de trabajos eficientes (1). Es necesario también calcular el tiempo para cada intensidad del trabajo, si como sucede generalmente, este varía a lo largo de la jornada (Alonso, 2005).

## **II. Materiales y métodos**

El trabajo se realizó en la fábrica de azúcar de la UEB Fábrica de Azúcar Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros, donde se desarrolló una investigación donde se emplean diferentes métodos y técnicas de investigación, las que referiremos a continuación:

- Análisis estadístico.
- Mediciones de los factores del bienestar termal.
- Encuestas a los expertos.
- Entrevistas no formales en puestos de trabajo y directivos.
- Observación.

### **II.1 Descripción de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.**

Para la caracterización de las condiciones climáticas se evaluaron en cinco años los datos de las variables climáticas siguientes:

- Promedio de temperatura media anual (°C).
- Promedio de temperatura mínima anual (°C).
- Promedio de temperatura máxima anual (°C).
- Promedio anual de velocidad del viento (m/s).
- Promedio anual de humedad relativa (%).
- Promedio anual de precipitaciones totales (mm).

Los datos fueron tomados de la estación meteorológica municipal.

### **II.2 Descripción de los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros.**

Para la caracterización de los factores del bienestar termal industrial se siguió la metodología propuesta por Betancourt (2010) quien propone la evaluación de las áreas de trabajo industrial siguientes:

- Exteriores
- Basculador
- Planta de energía
- Clarificación
- Casa de calderas
- Cristalización
- Centrifugación
- Planta de vapor
- Casa de máquinas
- Laboratorio

A partir del diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar (Ver anexo 1) se comprendieron las características de cada puesto de trabajo, en cada uno de los cuales se midieron los siguientes factores componentes del microclima laboral recomendados por Betancourt (2010):—

- Temperatura de bulbo húmedo ( $t_h, t_{bh}, ^\circ\text{C}$ ): que es la temperatura que está afectada por el contenido de vapor de agua del aire que se midió utilizando un termómetro corriente cubierto con una camiseta de algodón humedecida con agua y protegida de la radiación térmica.
- Humedad relativa (Hr, %): que es la expresión en % de la cantidad de vapor de agua existente en un volumen cualquiera de agua y la que habría si ese volumen estuviera completamente saturado de vapor de agua, se determinó conociendo la temperatura seca y la temperatura húmeda en la carta psicrométrica (Ver anexo 2).
- Temperatura del aire ( $t_a, t_s, t_{bs}, ^\circ\text{C}$ ): también llamada temperatura seca o temperatura del bulbo seco, que es la temperatura que no está afectada por el contenido de vapor de agua en el aire. Se midió usando un termómetro corriente

cuyo bulbo debe estar expuesto al aire pero protegido de la radiación infrarroja con una pantalla adecuada.

- Velocidad del aire ( $V_a$ ,  $m.s^{-1}$ ): es la velocidad del aire sobre la piel del trabajador, tiene un efecto importante sobre el intercambio térmico del trabajador con el ambiente, se mide con un anemómetro y se expresa en  $m.hora.trabajador^{-1}$ .

### II.3 Evaluación de los factores del bienestar termal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros

Evaluación del efecto directo del bienestar termal en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar:

Se compararon los valores de las variables medidas en el ambiente laboral de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio con la Norma Internacional ISO 7933, (1989) que recomienda los siguientes rangos como aceptables para el bienestar termal de los trabajadores:

| Factor                                          | Rango recomendado |        |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------|
|                                                 | Invierno          | Verano |
| Temperatura (°C)                                | 21-23             | 26-28  |
| Humedad relativa (%)                            | 30-55             | 30-55  |
| Velocidad del aire ( $m.hora.trabajador^{-1}$ ) | 30-50             | 30-50  |

Los datos obtenidos en condiciones de producción se compararon con los parámetros establecidos por la Norma Internacional ISO 7933, (1989), para la época de invierno. En el análisis se usó la fórmula de Gauss de comparación de medias en pruebas de hipótesis recomendada por Lerch (1977), Bustillo *et al.* (2004) y Miller *et al.* (2005), siguiente:

$$Z_c = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\sigma / \sqrt{N}}$$

Donde:

**Z<sub>c</sub>**→ percentil Z de Gauss calculado.

$\bar{x}$  es la media de la muestra, real obtenida en las condiciones de los puestos de trabajo.

$\mu$ → es la media poblacional establecida para la Norma Internacional ISO 7933, (1989).

**N**→ cantidad de observaciones realizadas en cada variable medida.

$\sigma$ → desviación típica o estandar.

Los valores del percentil Z se tomó de la tabla de normalidad de Gauss (Lerch, 1977).

Se calculó el coeficiente de correlación entre las siguientes variables:

- Temperatura del bulbo húmedo (°C) con la humedad relativa (%)
- Humedad relativa (%) y la temperatura del aire (°C)
- Temperatura del bulbo húmedo (°C) y la temperatura del aire (°C)
- Velocidad del aire (metros.hora.trabajador<sup>-1</sup>) y la temperatura del aire (°C)

### **2.3.2 Criterio de expertos sobre la situación actual del bienestar termal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.**

Esta investigación se realizó por un equipo multidisciplinario formado por 12 expertos de los cuales se seleccionaron 9 que reunía los criterios de selección. El grupo de expertos fue seleccionado utilizando los siguientes criterios:

- Experiencia y calificación profesional en la actividad que desempeña. (Ingeniero industrial, técnico de recursos humanos).
- Conocimiento profundo de la actividad que desempeña.



- 5 o más años de experiencia en la actividad.
- 5 o más años de experiencia en el polo industrial.

Aplicación del método Delphi, (Fernández, 2012) a través de diferentes rondas que se explican a continuación:

1. Desarrollo de la primera ronda: en este paso a cada experto del grupo de forma individual se le entregó un cuestionario pre-elaborado (Ver anexo 3) en la que se le plantea:

Aspectos a considerar para formar parte de la encuesta en los grupos de estudio para evaluar el impacto del bienestar termal en su salud de los trabajadores de la fábrica azucarera "Antonio Sánchez".

¿Cuáles considera usted que sean las preguntas que se deben utilizar para lograr una información más exacta sobre el impacto del bienestar termal en la salud de trabajadores?

Posteriormente se analizaron los resultados y a través de la técnica de reducción de listado, se erradicaron repeticiones y similitudes, que determinaron los expertos.

## **2. Desarrollo de la segunda ronda.**

En esta ronda a los expertos se les preguntó:

¿En qué nivel considera usted las preguntas a utilizar según el nivel de relación e información que pueden ofrecer las mismas sobre el impacto del bienestar termal en la salud de los trabajadores de la fábrica azucarera "Antonio Sánchez"?

En este paso se les orientó a los expertos que significaba que se considera la pregunta de mayor importancia y así en orden descendiente el resto de las preguntas.

Luego de recogidas las respuestas de todos los expertos, se determinó el nivel de concordancia a través de la expresión:

$$Cc = \frac{V_n}{V_t} * 100$$

Donde:

Cc: Coeficiente de concordancia expresada en porcentaje.

Vn: Cantidad de expertos a favor del criterio predominante.

Vt: Cantidad total de expertos.

Los criterios donde  $Cc \geq 60\%$  se tomaron en cuenta y donde  $Cc < 60\%$  se desecharon.

Para la validación del trabajo del grupo de expertos se utiliza en método de kendall, recomendado por Fernández (2012) que consiste en la recopilación o recogida de información ponderada de los expertos. En esta se unifica el criterio de varios especialistas con conocimiento de la temática, de manera que cada integrante del panel haya ponderado según el orden de importancia, que cada cual entienda a criterio propio.

El procedimiento matemático aplicado fue el de Fernández (2012), que se basa en la suma de la puntuación para cada característica, con el algoritmo siguiente:

- Llevar a la tabla el resultado de la votación de cada experto.
- Sumatoria de todos los valores por fila.
- Cálculo del coeficiente (T).

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_j}{k}$$

- Se realiza el control de las características cuyo valor es menor que el coeficiente (T).
- Cálculo de  $\Delta$ , se hace por fila y uno por uno.

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a - T$$

- Cálculo de  $\Delta_2$ , se halla la sumatoria al final de la columna.
- Posteriormente se halla el coeficiente de Kendall (W).

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^k \Delta_j^2}{m^2(k^3 - k)} \geq 0.5$$

- Si se cumple hay concordancia y el estudio es válido.

$K$ : Número de características.

$m$ : Número de expertos.

- Si  $W < 0.5$  se repite el estudio, de haber un número de expertos mayor que 7 deben eliminarse los que más variación introducen en el estudio, respetando siempre  $m \geq 7$ .

### III. Resultados y discusiones

#### III.1 Caracterización de las condiciones climáticas y de los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en el municipio Aguada de Pasajeros.

Caracterización de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de azúcar en el municipio Aguada de Pasajeros

En la Tabla 1 se muestran las temperaturas registradas en el municipio Aguada de Pasajeros en los años estudiados:

Tabla 1 Temperaturas registradas en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

| Años     | Temperatura máxima (°C) | Temperatura mínima (°C) | Temperatura promedio (°C) |
|----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 2008     | 32,01                   | 19,94                   | 25,04                     |
| 2009     | 29,15                   | 21,28                   | 25,75                     |
| 2010     | 30,57                   | 19,42                   | 24,36                     |
| 2011     | 36,17                   | 20,21                   | 24,50                     |
| 2012     | 31,26                   | 19,18                   | 24,20                     |
| Promedio | 31.83                   | 20,01                   | 24,77                     |

Como se observa en el territorio las condiciones climáticas se caracterizan por tener un promedio de temperatura máxima de 31.83 °C, donde los valores más elevados se observan los años: 2011 (36.17°C), 2008 (32.01°C) y 2012 (31.26°C). La temperatura mínima promedio anual es de 20.01°C, donde los años 2009 (21.26°C) y 2011 (20.21°C). La temperatura promedio anual es de 24.77 °C, donde los valores más elevados se perciben en los años: 2009 (25.75°C) y 2008 (25.04°C). El valor promedio de temperatura en el municipio sugiere un clima cálido en cuanto a las temperaturas máximas y promedios, lo cual se corresponde con lo planteado por Viña (2004) quien

refiere que el clima cubano se caracteriza por temperaturas elevadas la mayor parte del año.

Los valores de Precipitaciones, velocidad del viento y humedad relativa en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros aparecen en la Tabla 2:

Tabla 2 Precipitaciones, velocidad del viento y humedad relativa en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

| Años     | Humedad relativa (%) | Velocidad del Viento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) |
|----------|----------------------|--------------------------------------------|
| 2008     | 74,13                | 9,21                                       |
| 2009     | 79,83                | 5,39                                       |
| 2010     | 77,09                | 5,86                                       |
| 2011     | 77.00                | 5,12                                       |
| 2012     | 79.00                | 6,20                                       |
| Promedio | 77,02                | 6,36                                       |

Como se percibe en el territorio las condiciones climáticas se caracterizan por tener un promedio de humedad relativa del 77.02%, donde los años con los valores más elevados son: 2009 (79.83%), 2012 (79.00%) y 2010 (77.09%). La velocidad del viento promedio anual de  $6.36 \text{ m.s}^{-1}$ , donde el año de mayor valor es: 2008 ( $9.21 \text{ m.s}^{-1}$ ). Estos valores superan el rango establecido ( $1.5 \text{ m.s}^{-1}$ ) en la Norma Internacional ISO 7933, (1989). Estos resultados coinciden con lo planteado por Betancourt (2010) quien refiere que durante los meses cuando la producción azucarera está en marcha las temperaturas aéreas son más bajas y las velocidades del viento más elevadas, lo cual se debe a que la producción de azúcar en Cuba coincide con la época invernal.

### **III.2 Caracterización de los factores del bienestar termal industrial en que se desarrolla la producción de azúcar en el municipio Aguada de Pasajeros.**

El Promedio de temperatura del aire o seca en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 1) muestra que las áreas:

Clarificación (28.1°C), casa de calderas (29.4°C), cristalización (29.3°C), centrifugación (29.3°C) y planta de vapor (27.2°C). Los valores están por encima del valor promedio en el exterior de la fábrica (23.9°C). Excepto la planta de vapor el resto de las áreas superan los 27.5°C sugeridos como límite máximo para las fábricas de azúcar por Alonso (2005). Estas áreas son llamadas también de fabricación donde se utiliza gran cantidad de calor en los procesos de producción. Sin embargo, aún así, tanto en el exterior como en el interior los valores no son tan elevados, debido que la época donde se efectúa la zafra en Cuba es la de invierno, meses en que la temperatura ambiental no es tan elevada (Betancourt, 2010).

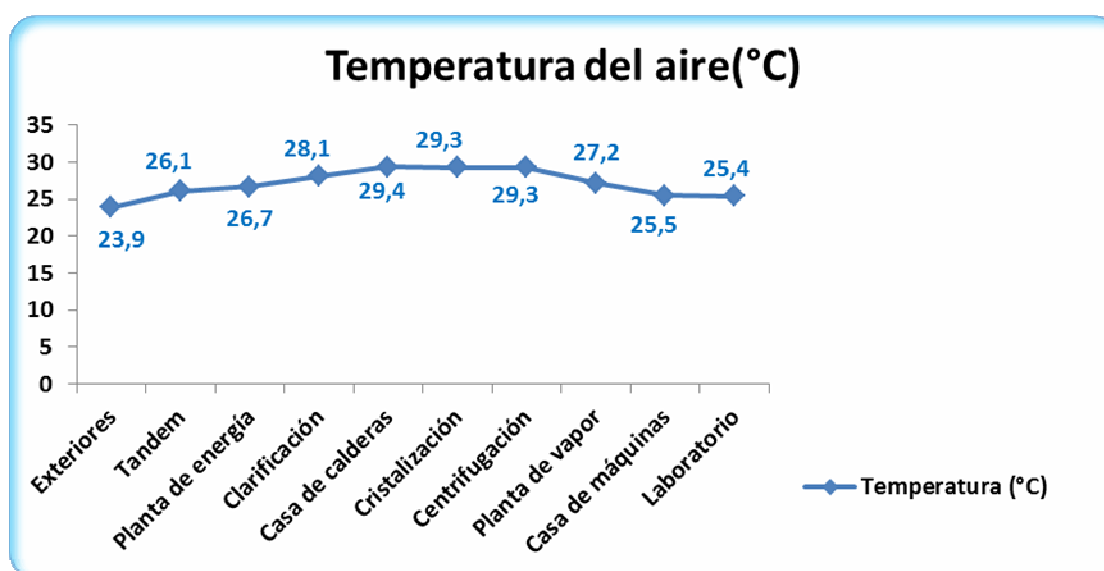


Figura 1 Promedio de temperaturas en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros.

El promedio de humedad relativa en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 2) exhibe los valores más bajos en las áreas: Clarificación (58 %), casa de calderas (55 %), cristalización (53 %), centrifugación (58 %) y planta de vapor (55 %). Todos estos valores están por debajo del porcentaje en el exterior de la fábrica (76%), donde existe coincidencia con las áreas donde la temperatura del aire es la más elevada, que se explica con lo planteado por Alonso (2005) quien reporta relación inversa entre la temperatura del aire y la humedad del aire, donde la elevación de la primera produce reducción de la segunda pues el vapor

se calienta, sube con el aire caliente y sale al exterior por las ventanas superiores del edificio fabril (efecto chimenea).

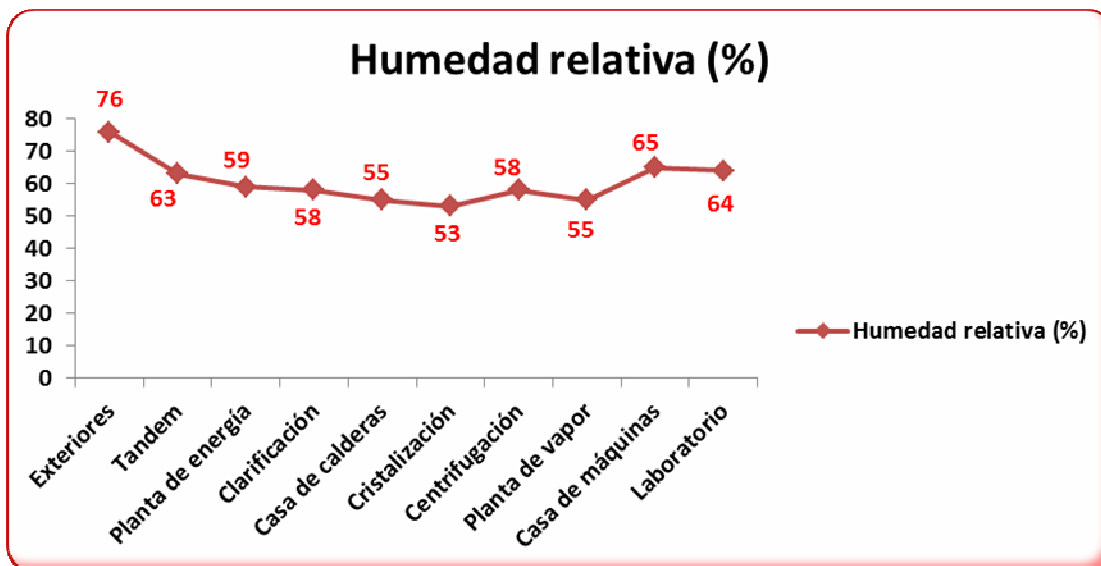


Figura 2 Promedio de humedad relativa en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros.

El promedio de velocidad del aire en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 3) indica un aumento de la misma en las áreas exteriores ( $14 \text{ m.horas.hombre}^{-1}$ ) y tandem ( $15 \text{ m.horas.hombre}^{-1}$ ) donde se recibe la influencia directa del viento. Así como también en las áreas: Clarificación ( $15 \text{ m.horas.trabajador}^{-1}$ ), casa de calderas ( $16 \text{ m.horas.trabajador}^{-1}$ ), cristalización ( $15 \text{ m.horas.trabajador}^{-1}$ ), centrifugación ( $15 \text{ m.horas.trabajador}^{-1}$ ) y planta de vapor ( $14 \text{ m.horas.trabajador}^{-1}$ ), donde los valores de temperatura seca son los más elevados y por ello se produce un movimiento más rápido del aire al calentarse y subir hacia el techo de la fábrica (efecto chimenea) (Betancourt, 2010).

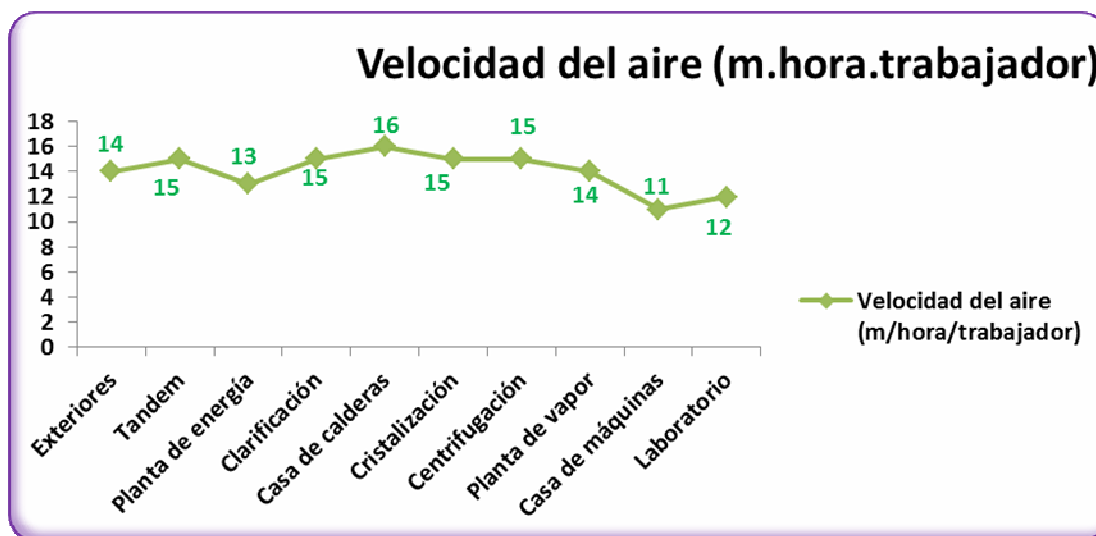


Figura 3 Promedio de velocidad del aire en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros.

El promedio de temperatura del bulbo húmedo en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 4) muestra los valores de mayor cuantía en las áreas: Clarificación (31.8 °C), casa de calderas (34.6 °C), cristalización (34.6 °C), centrifugación (32.2 °C) y planta de vapor (31.1 °C), todas con valores superiores al existente en los exteriores de la fábrica (26.5 °C) y al límite máximo de 30 °C recomendado por Alonso (2005) para el bienestar termar de los trabajadores. Estas áreas se caracterizan por tener potentes fuentes de radiación térmica, debido a que se usan grandes cantidades de ese tipo de energía en el proceso productivo (Betancuort, 2010).



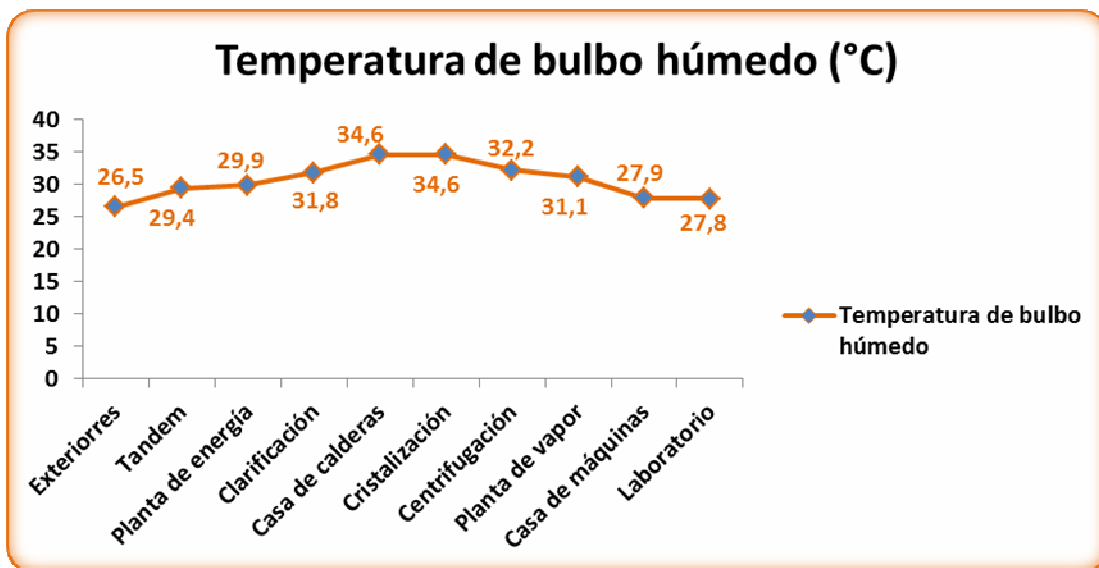


Figura 4 Promedio de temperatura del bulbo húmedo en las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros.

### III.3 Evaluación del efecto directo del bienestar termal de la industria azucarera sobre los trabajadores

Evaluación del efecto del bienestar termal de la fábrica de azúcar sobre los trabajadores:

La comparación entre la media del rango de la Norma Internacional ISO 7933, (1989) ( $\mu$ ) de las variables: Temperatura (°C), Humedad relativa (%) y Velocidad del aire ( $\text{m.s}^{-1}$ ), con los datos tomados en las áreas de trabajo evaluados aparece en la tabla 3:

Tabla 3 Comparación entre la media del rango de la Norma Internacional ISO 7933, (1989) ( $\mu$ ) de las variables: Temperatura (°C), Humedad relativa (%) y Velocidad del aire ( $\text{m.s}^{-1}$ ), con los datos tomados en los puestos de trabajo evaluados.

| Áreas de trabajo  | Temperatura (°C) |           | Humedad rel. (%) |           | Velocidad del aire (m/s) |           |
|-------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------|-----------|
|                   | $\mu$            | $\bar{X}$ | $\mu$            | $\bar{X}$ | $\mu$                    | $\bar{X}$ |
| Alrededores       | 22.00*           | 23,9*     | 70*              | 76*       | 1,5*                     | 1.4*      |
| Tándem            | 22.00*           | 26,1*     | 70*              | 63*       | 1,5*                     | 0.5*      |
| Planta de energía | 22.00*           | 26,7*     | 70*              | 59*       | 1,5*                     | 0.2*      |
| Clarificación     | 22.00*           | 28,1*     | 70*              | 58*       | 1,5*                     | 0.5*      |
| Casa de calderas  | 22.00*           | 29,4*     | 70*              | 55*       | 1,5*                     | 0.6*      |
| Cristalización    | 22.00*           | 29,3*     | 70*              | 53*       | 1,5*                     | 0.3*      |
| Centrifugación    | 22.00*           | 29,3*     | 70*              | 58*       | 1,5*                     | 0.2*      |
| Planta de vapor   | 22.00*           | 27,2*     | 70*              | 55*       | 1,5*                     | 0.3*      |
| Casa de máquinas  | 22.00*           | 25,5*     | 70*              | 65*       | 1,5*                     | 0.1*      |
| Laboratorio       | 22.00*           | 25,4*     | 70*              | 64*       | 1,5*                     | 0.2*      |
| Casa de calderas  | 22.00*           | 23,9*     | 70*              | 76*       | 1,5*                     | 0.2*      |

\* hay diferencia significativa para  $P < 0.05$ .

Como se observa (Tabla 3) existe diferencia significativa (para  $P < 0.05$ ) entre los datos obtenidos en las áreas de trabajo y los rangos establecidos en la Norma Internacional ISO 7933, (1989). Las temperaturas muestran valores superiores a los de la norma en todos los puestos de trabajo. Lo que confirma lo planteado por Betancourt (2010) en lo referente a que por regla general, las fábricas de azúcar en Cuba se diseñaron con criterios de escasa rigurosidad ergonómica y medioambiental. Sólo se tuvieron en cuenta los requisitos tecnológicos. Mientras que la humedad relativa es superior solo en el exterior de la fábrica (76%) y en casa de calderas (76%). La velocidad del aire está, dentro de la fábrica, por debajo del nivel establecido lo cual afecta el intercambio térmico del trabajador con el ambiente, a menor velocidad la pérdida de calor es más lenta, así como también el refrescamiento por la evaporación del sudor (Viña, 2005). En puestos como clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor; donde la radiación térmica es elevada, esta situación puede provocar

desequilibrio térmico con molestias que pueden ser perjudiciales para la salud de los trabajadores (Alonso, 2005).

La correlación entre la temperatura del bulbo húmedo y la humedad relativa medidas en los puestos de trabajo de la industria azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 3), revela coeficiente alto, negativo y significativo entre ambos factores del microclima laboral lo que indica que en las evaluaciones realizadas a medida que aumenta la temperatura disminuye la humedad y viceversa esto explica lo planteado por Betancuort (2010) que refiere que la temperatura del bulbo húmedo se utiliza para determinar la humedad relativa ambiental, pues expresa la temperatura del aire saturado de humedad y que a mayor valor de esta implica que la humedad del aire sea menor en las tablas psicrométricas.

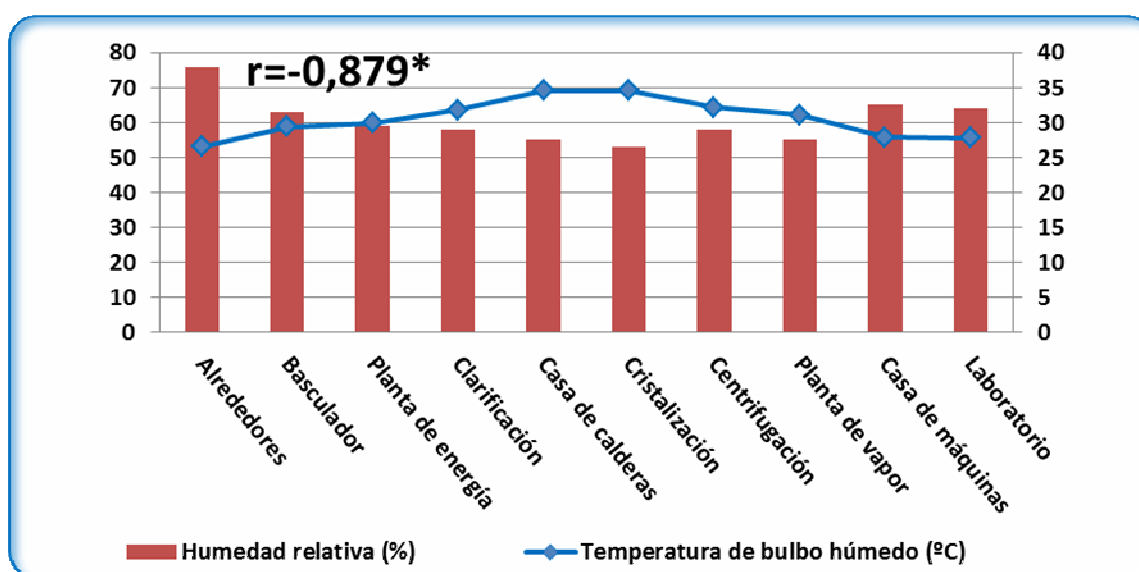


Figura 3 Correlación entre la temperatura del bulbo húmedo y la humedad relativa medidas en los puestos de trabajo de la industria azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

La correlación entre la humedad relativa y la temperatura del aire medidas en los puestos de trabajo de la industria azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 4) muestra coeficiente negativo, alto y significativo ( $P \leq 0.01$ ) que

indica una relación inversamente proporcional, lo cual se explica con lo planteado por Betancourt (2010) quien expresa que la temperatura del aire o seca permite el cálculo de la humedad relativa, que a medida que esta se incrementa decrece la humedad relativa en la carta psicrométrica. Que la temperatura del aire en los puestos de trabajo influyen: el equipamiento instalado (su radiación de calor), la iluminación y la cantidad de personas en el local. Por su parte la humedad del aire disminuye con la radiación térmica que a su vez eleva la temperatura del aire pues en esas condiciones el vapor se calienta y se eleva disminuyendo en los puestos de trabajo (McCormick, 2010). Los puestos de trabajo con mayor radiación térmica son: Clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor; donde se usan grandes cantidades de energía térmica en los procesos (Betancourt, 2010). Los trabajadores de dichos puestos de trabajo están sometidos a temperaturas superiores a los 30 °C, aunque la humedad relativa está por encima del 53%, que no supera el rango establecido (30-70%) por la Norma Internacional ISO 7933, (1989) (Viña, 2005).

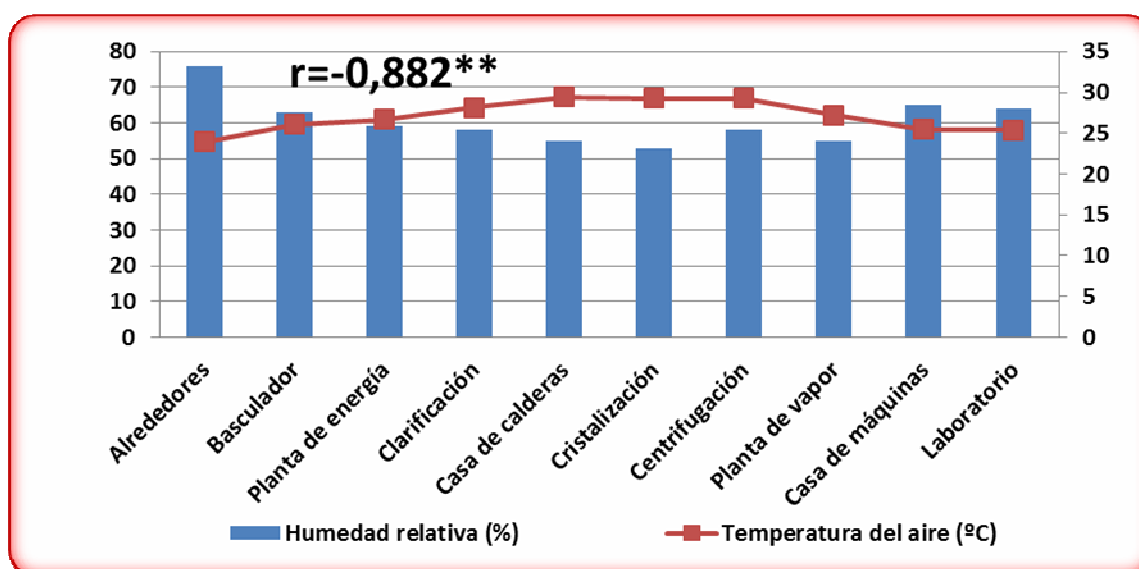


Figura 4 Correlación entre la humedad relativa y la temperatura del aire medidas en los puestos de trabajo de la indúdtia azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

La correlación entre la temperatura del bulbo húmedo y la temperatura del aire medidas en los puestos de trabajo de la indúdtia azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 5) exhibe coeficiente alto, positivo y significativo, lo cual indica que ambas tienen un relación directamente proporcional que puede explicarse con lo planteado por Betancourt (2010) quien explica que la del bulbo húmedo expresa el calor atmosférico del local totalmente saturado de agua y la otra la del aire con la humedad existente, donde la diferencia de ambas en % da como resultados la humedad relativa del local donde se realiza el estudio. Donde queda claro que a medida que aumenta la temperatura del bulbo húmedo, aumenta la del aire y disminuye el % de humedad relativa.

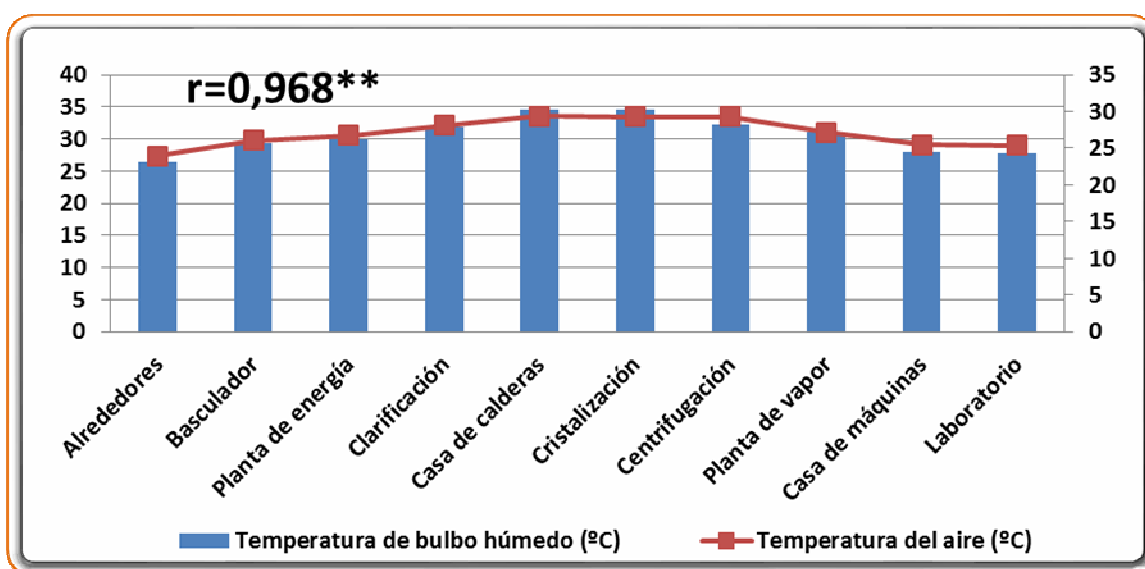


Figura 5 Correlación entre la temperatura del bulbo húmedo y la temperatura del aire medidas en los puestos de trabajo de la industria azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

La correlación entre la velocidad del aire y la temperatura del aire medidas en las áreas de trabajo de la industria azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros (Figura 6) revela coeficiente alto, negativo y significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre la velocidad y la temperatura del aire, lo cual indica una relación inversamente proporcional entre estos dos factores. Este resultado se interpreta a partir de lo

presentado por Hawasaki (2005) quien sugiere que el movimiento aéreo afecta los rangos de temperatura que se conoce como el Efecto Chimenea, que se debe a la diferencia de densidad entre las masas de aire interior caliente y las masas de aire exteriores más frescas. El diseño de la ventilación a través de la diferencia de temperatura tiene gran importancia en las fábricas de azúcar debido a que se caracterizan por producir una gran generación de calor en su tecnología. También está favorecido por el tipo de construcción que presenta techos altos con tejas de zinc en las alturas. Según el autor los cambios básicos a considerar son: la diferencia en la temperatura entre el interior y el exterior de la fábrica.

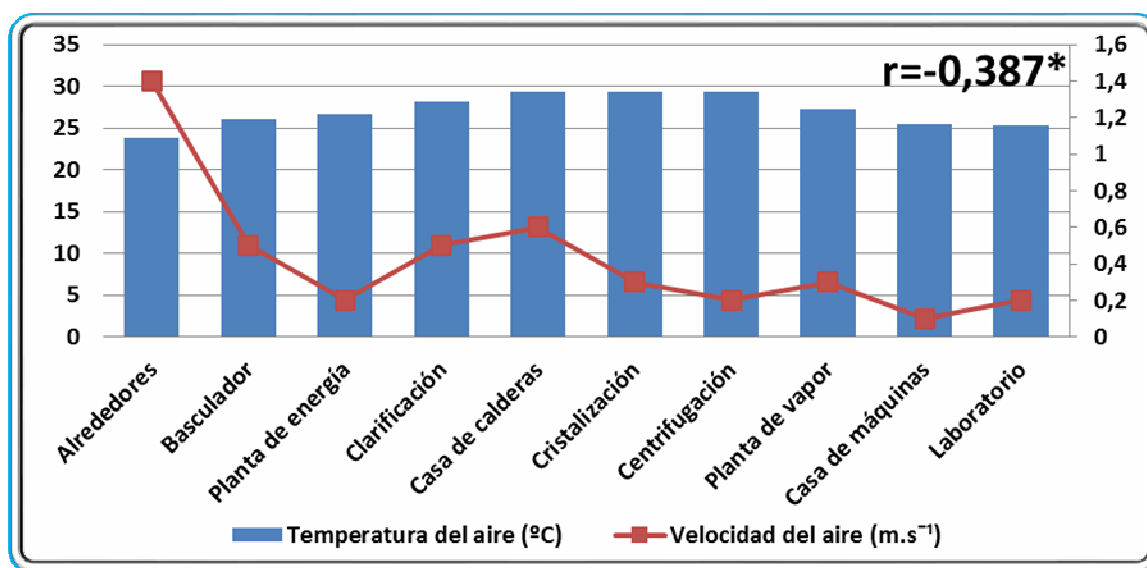


Figura 6 Correlación entre la velocidad del aire y la temperatura del aire medidas en los puestos de trabajo de la indúdtia azucarera Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

### 3.3.2 Criterio de expertos sobre la situación actual del bienestar termal en la industria azucarera del municipio Aguada de Pasajeros.

#### Método Delphi y Prueba W de Kendall

El cálculo de los % de concordancia en el criterio de los expertos, según la prueba de W de Kendall aparecen en las tablas 7 y 8:

Tabla 4 Riesgos asociados al bienestar termal en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez"

| Riesgos asociados al bienestar termal en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez"                                                                             | Concordancia (%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| El clima cubano de temperaturas y humedad relativa elevadas durante todo el año.                                                                            | 86.4             |
| Época del año en que se realiza el proceso fabril azucarero.                                                                                                | 2.3              |
| Equipamiento instalado en algunos puestos de trabajo.                                                                                                       | 96.2             |
| Falta de estudios ergonómicos sobre el bienestar termal de las fábricas de azúcar.                                                                          | 88.6             |
| Pobre uso de las fuerzas favorables de la naturaleza para mejorar el bienestar termal de las industrias azucareras.                                         | 98.6             |
| Falta de conocimientos de los encargados de dirigir el proceso fabril sobre la incidencia de las radiaciones térmicas sobre los trabajadores industriales.  | 93.1             |
| Incumplimiento de los rangos de los valores de los factores del bienestar termal industrial azucarero establecidos por la Norma Internacional 7933, (1989). | 75.3             |
| Plantilla del proceso fabril incompleta que demanda de mayor esfuerzo físico de los trabajadores de los puestos de trabajo involucrados.                    | 96.4             |
| Luminarias que emiten alta radiación de calor.                                                                                                              | 73.6             |

Se observa (Tabla 4) que el 86.4% de los expertos coinciden en que es un riesgo para el bienestar termal que el clima cubano de temperaturas y humedad relativa elevadas durante todo el año. Este resultado coincide con lo reportado por Alonso (2005) que refiere que el clima cubano se caracteriza por poseer temperatura y humedad alta durante todo el año.

Estas características desfavorables del clima se ven agravadas en las áreas de trabajo de las fábricas de azúcar por: equipos y productos en proceso a altas temperaturas, generación de vapor, deficiente diseño de edificaciones, pobre ventilación, así como por la incidencia de la radiación solar directa. Esto último coincide con que el 96.2% de los expertos concuerden que es un riesgo para el bienestar termal el equipamiento instalado en las áreas de trabajo de fabricación de azúcar (Huggot, 2005). Así como que el 75.3 % de los expertos observen incumplimiento de los rangos de los valores de los factores del bienestar termal industrial azucarero establecidos por la Norma Internacional ISO 7933, (1989) en las áreas de trabajo. Además de que el 73.6 % vea la existencia de luminarias que emiten alta radiación de calor como una fuente de radiación termal dentro de los puestos de trabajo.

Como se observa solo el 2.3% de los expertos concuerdan que el hecho que el proceso de fabricación de azúcar coincida con la época de invierno puede afectar el bienestar termal de las áreas de trabajo. Este resultado converge con lo planteado por Betancourt (2010) quien refiere que está lejos de afectar, beneficia pues durante los meses cuando la producción azucarera está en marcha las temperaturas aéreas son más bajas y las velocidades del viento más elevadas lo cual favorece el bienestar termal.

La falta de estudios ergonómicos sobre el bienestar termal de las fábricas de azúcar recibió un 88.6% de aprobación por parte de los expertos, lo cual concuerda con la necesidad de realizar dichos estudios en cada fábrica de azúcar planteada por Carson (1974), que además queda explícito en la falta de conocimientos de los encargados de dirigir el proceso laboral sobre la incidencia de las radiaciones térmicas sobre los trabajadores industriales en las áreas de trabajo, que refieren el 93.1% de los expertos.

El pobre uso de las fuerzas favorables de la naturaleza para mejorar el bienestar termal de las industrias azucareras (98.6%) concuerda con lo planteado por Betancourt (2010) quien refiere que Por regla general, las fábricas de azúcar se diseñaron con criterios de escasa rigurosidad en el control medioambiental, donde Sólo se tuvieron en cuenta los requisitos tecnológicos.

El 96.4 % de los expertos concuerdan que la plantilla del proceso fabril incompleta que demanda de mayor esfuerzo físico de los trabajadores de los puestos de trabajo



involucrados. Lo cual según estos se debe a las propias condiciones de trabajo y salario a que están expuestos los trabajadores.

Tabla 5 Clasificación del bienestar termal de las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez".

| Clasificación del bienestar termal de las áreas de trabajo                                                                 | Concordancia (%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Bienestar termal que clasifica como aceptable en las áreas de trabajo.                                                     | 86.7             |
| Bienestar termal crítico en las áreas donde se usan grandes cantidades de energía calorífica en el proceso de fabricación. | 91.6             |

Se observa (Tabla 5) que el 86.7 % de los expertos considera que el bienestar termal en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez", se clasifica como aceptable en las áreas de trabajo. Sin embargo el 91.6% concuerda que es crítico en las áreas de trabajo: Clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor, donde se usan grandes cantidades de energía calorífica en el proceso de fabricación. Lo cual, según Alonso (2005) significa que aparecen algunas manifestaciones que provocan malestar en los trabajadores pero que no tiene efectos adversos para la salud. Este resultado coincide con lo obtenido anteriormente, en que estas áreas muestran los valores más críticos, en cuanto a los factores del bienestar termal: temperatura del bulbo húmedo, temperatura del bulbo seco o del aire, humedad relativa y velocidad del aire.

Tabla 6 Medidas para mejorar el bienestar termal de las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez".

| Medidas para mejorar el bienestar termal                                                                                           | Concordancia (%) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Ver cada área según sus características y las condiciones del proceso función a que se destinará, determinando la ganancia termal. | 78.6             |
| En todas áreas la ventilación debe diseñarse de tal una manera que,                                                                | 83.5             |

|                                                                                                                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| medio del Efecto de la Chimenea, el refrescamiento aéreo logrado en el interior se mantenga en el rango de temperatura fijado.                                          |      |
| La entrada y aperturas de las toma de corrientes aéreas no deben estar obstruidas por las instalaciones, los edificios, los árboles, las tablas, e otras.               | 98.6 |
| La ganancia termal aportada por el equipamiento y la maquinaria puede ser eliminada con la instalación de conductos y extractores, así como agregar áreas de ventanaje. | 78.5 |
| Completar la plantilla de las áreas para reducir el esfuerzo físico de los trabajadores                                                                                 | 100  |

Como se percibe (Tabla 6) el 78.6% de los expertos considera que para mejorar el bienestar termal de las áreas de trabajo en la fábrica de azúcar en estudio, una de las medidas puede ser ver cada área según sus características y las condiciones del proceso o la función a que se destinará, determinando la ganancia termal y la energía acumulativa. Donde el calor que entra en los puestos de trabajo de las varias fuentes es el absorbido e inmediatamente eliminado; sin embargo, muchas fuentes de calor transmiten parte de la energía inicialmente en forma de radiación, a las paredes, suelos y techados, la cual es absorbida en cierta medida por estos. Debido a este fenómeno, el calor en el interior puede ser al principio bajo, pero después la propia acumulación puede hacerlo perceptible en el medio. Este resultado se aplica a la radiación solar, luminarias y a otras formas de acumulación de calor, mencionadas anteriormente, aunque esto no es significativo en el suministro total de la energía termal que se recibe en las fábricas de azúcar (Woods, 2004). Esto concuerda, además con lo reportado por Betancourt (2010) en lo referente a que faltan estudios de la ganancia termal y la acumulación de energía en forma de calor, de las fuentes que afectan cada área de las fábricas de azúcar, donde los valores que se tomen son válidos solamente para el lugar y el momento en que se tomaron, por eso se requiere que los estudios se realicen periódicamente y se comparen con los anteriores.

A partir del estudio de la ganancia termal, las áreas que requieran de un refrescamiento, la ventilación debe diseñarse de tal una manera que, por medio del Efecto de la Chimenea, el refrescamiento aéreo logrado en el interior se mantenga en el rango de temperatura fijado (el 83.5% de los expertos lo ven así). El movimiento aéreo que afecta los rangos de temperatura se conoce como el Efecto Chimenea, que, según Spenger (2005) se debe a la diferencia de densidad entre las masas de aire interior caliente y las masas de aire exteriores, que entran al área, más frescas. Lo cual es característico de las fábricas de azúcar.

El diseño de la ventilación a través de la diferencia de temperatura tiene gran importancia, según la literatura consultada, en las fábricas de azúcar debido a que se caracterizan por producir una gran generación de calor en su tecnología. También está favorecido por el tipo de construcción que presenta techos altos con tejas de zinc en las alturas.

Los cambios básicos, según Spenger (2005), a considerar son: la diferencia en la temperatura entre el interior y el exterior se establece como una temperatura apropiada para el diseño interior de 27.5 °C, lo que aproxima damente equivale a 25°C registrada en el bulbo húmedo o 30°C en el bulbo seco y la diferencia entre la altura de la entrada y de la salida de la corriente de aire, las que dependen principalmente de los planos arquitectónicos y civiles. Esto último ya no puede cambiarse pero puede tenerse en cuenta para evaluar el grado de refrescamiento por el movimiento del aire dentro del área de trabajo.

El 98.6 % de los expertos concuerdan que la entrada y aperturas de las toma de corrientes aéreas no deben, en algunas áreas están obstruidas por las instalaciones, maquinaria, los árboles, tablas, entre otras cosas. Lo cual dificulta el paso del aire fresco hacia el interior del área de trabajo para que se produzca el refrescamiento por el efecto chimenea mencionado anteriormente. Dentro del rediseño de la ventilación puede tenerse en cuenta la eliminación, en lo posible de dichas obstrucciones.

Los expertos (78.5%) consideran que la ganancia termal aportada por el equipamiento y la maquinaria puede ser eliminada con la instalación de conductos y extractores, así como agregando áreas de ventanaje, lo cual requiere de una inversión que podrá

ajustarse a las características de cada una de las áreas donde la ganancia termal exceda los límites establecidos.

Un gran problema dentro del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez (El 100% de los expertos consultados lo ven así), es la falta de fuerza de trabajo calificada y con experiencia, para cubrir la plantilla de cada una de las áreas. Esto repercute no solo en la eficiencia fabril, sino en el bienestar termal de los trabajadores, pues se requiere que los mismos doblen turnos, cubran más tareas que las establecidas para su puesto, entre otros inconvenientes. La elevación del nivel de actividad conlleva a que se eleve el calor metabólico corporal, donde, según Betancourt (2010) a través del metabolismo se libera toda la energía que necesita el organismo. Parte es liberada para mantener la temperatura de nuestro cuerpo y parte para la realización de todas las funciones vitales incluyendo la realización del movimiento. En actividades donde se involucran grandes grupos musculares que es donde hay un mayor aprovechamiento del trabajo externo, solo alcanza valores entre 20 y 25% de toda la energía liberada y el resto se transforma en calor. El mantenimiento de la temperatura interna del cuerpo dentro de un intervalo muy estrecho es esencial para la vida y capacidad de trabajo. De mantenerse por encima o por debajo del rango vital aceptado ( $37.6^{\circ}\text{C}$  -  $41^{\circ}\text{C}$ ) se puede producir fatiga, dada, según Alonso (2005) por los mecanismos termorregulación del organismo.

Los estadísticos de contrastes aparecen en la tabla 8:

Tabla 7 Estadísticos de contraste del coeficiente de Kendall

|                             |         |         |
|-----------------------------|---------|---------|
| N                           | 16      | 16      |
| W de Kendall <sup>(a)</sup> | 0,624   | 0,763   |
| Chi-cuadrado                | 163,921 | 189,236 |
| gl                          | 20      | 20      |
| Sig. asintót.               | 0,000   | 0,000   |

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Como se observa se obtuvieron en ambas rondas se obtuvieron coeficientes de Kendall (Tabla 7) con valores superiores a 0.5, lo cual valida los resultados, donde se definieron los principales elementos que afectan el bienestar termal en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez" (Tabla 7).

#### **IV. Conclusiones.**

1. Los factores del bienestar termal influyen negativamente sobre el trabajador en las áreas de trabajo: Clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor, por la acumulación de las grandes cantidades de energía calorífica que se usan en el proceso de fabricación.
2. Las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de azúcar en la fábrica Antonio Sánchez se caracteriza por elevadas: temperaturas, humedad relativa y velocidades del viento que afectan las áreas de trabajo de la industria donde los trabajadores están a la intemperie.
3. Las áreas de trabajo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros muestran valores de temperatura del bulbo húmedo, de humedad relativa, temperatura del aire y velocidad del aire fuera de los rangos establecidos ISO 7933, donde a criterio de los expertos el bienestar termal es aceptable a nivel de la fábrica y crítico en las áreas de trabajo: Clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor, donde se usan grandes cantidades de energía calorífica en el proceso de fabricación.
4. Para mejorar el bienestar termal de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez se requiere: analizar periódicamente la ganancia termal, rediseñar la ventilación para el refrescamiento por el efecto chimenea, quitar las obstrucciones de las entradas de aire, instalación de conductos, extractores, agregar áreas de ventanales y completar la plantilla de las áreas de trabajo, con énfasis en: clarificación, casa de calderas, cristalización, centrifugación y planta de vapor, identificadas con bienestar termal crítico.

## **V. Recomendaciones.**

1. Tener presente las medidas propuestas por los expertos para mejorar el bienestar termal en las áreas de trabajo de la fábrica "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros.
2. Repetir la investigación tomando en consideración la temperatura corporal de los trabajadores en cada puesto de trabajo de la fábrica "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros.

## **Reseña bibliografía.**

- Alonso B. A. (2005). Ergonomía. Segunda Parte. Folleto preparado para la especialidad de Ing. SRD. 83-91pp.
- Betancourt, M. (2006) Sugar and climate. Proceedings XVII Congress. 21-26 february 1983. Volume 2. International Society of Sugar Cane Technologist. Ciudad Habana, Cuba.
- Blanchene, G. (2004) Saber construir. Ed. Técnicas asociadas. S. A.pp 6-45
- Brunt, D. (2004) Climatología. Ed. Espasa Calpe. Argentina, S. A.pp 12-45.
- Cardiergoes, R. (2006) Aislamiento y protección de las construcciones. Ed. Gustavo Gilli. España.pp7-140
- Carrier (2004) Desing Data, design standart. Ed. Revolución. Pp8-40.
- Carson, G. (2004) Muestreo de partículas en el ambiente industrial. Ed. Asbrae Journal. Myo 1974.
- Davitaya, F.F. y Transov, I.I. (2004) Los recursos climatológicos de Cuba. Instituto del Libro.pp7-30.
- Douglas, H. y Lee, K. (2003) Clima y Arquitectura. ECAG. USA. Pp3-80.
- Edholns, O. G. (1967) La biología del trabajo. Ed. Guadarrama. España. PP 10-78.
- Fernández, F., J.(2012). Estudio de las emisiones de ruido en el grupo electrógeno del Consejo Popular Covadonga y las posibles afectaciones a la salud humana. Trabajo de diploma para otorgar el título de ingeniería industrial. Facultad de ciencias económicas empresariales. Departamento de ingeniería industrial. Universidad de Cienfuegos.
- George, S. D. (2004) Human ecology. Ed. Faber and Fiber. USA. Pp1-180.
- George, P. (2006) El medio ambiente. Ed. Oikos- Tau, S.A., USA. Pp 10-34.
- González, E. (2008). Guía cañera. Dpto. de Investigaciones Internacionales. CIDA. INRA. La Habana.
- Hawasaki, H. I., LTD. (2005) Catalogo de ingenios azucareros de 2000 arrobas. Ed. Kawasaki, Japón. Pp2-85.
- Henn, W. (2004) Edificaciones industriales. Ed. G. Gilli. España. Pp6-300.
- Huggot, E. (2005) Manual para ingenieros azucareros. Ed. Revolución. Cuba. Pp 5-145.



Humbert R. P. (2004). El cultivo de la caña de azúcar. Editora Universitaria. La Habana.

ICPL (2004) Prevención de accidentes en la industria. Ed. Principios técnicos. RDA. Pp8-145.

Iglesias, M. (2004) Guía para el diseño de sistemas de ventilación. Ed. MINAL. Cuba. Pp2-45.

Jaén, A. 2005. Servicio de prevención de riesgos laborales. Información riesgos por calor. Folleto de 10p. Julio 2005.

McCormick E. (2010) Ergonomía. pág 298-322

Meina Trading Co. LTD. (2006) Catálogo de ingenios azucareros de 7000 arrobas. Ed. Kawasaki. Japón. Pp1-180.

MINSAP (2005) Medicina del trabajo en la industria azucarera. Ed. Inf. Técnicos, Cuba. Pp1-140.

MINTRAB (2004) Metodología y modelaje sobre condiciones laborales anormales de trabajo. Ed. MINAZ. Cba. Pp 3-45.

Mitsubishi Co. (2004) Catálogo de ingenios azucareros de 7000 arrobas. Ed. Kawasaki. Japón. Pp1-180.

Munce, J. F. (2004) Industrial architecture. Ed. F. W. Crop. USA. Pp20-110.

Norma internacional ISO 7933, julio 1989

Orlov P. (2003). Manual Economía del trabajo. P 539-559

S.A. (2004) Bases de diseño. Ed. Construcción industrial. Cuba.

Spenger, R. (2005) Manual de calefacción y climatización. Ed. Blume. RFA. Pp7-572.

Viña S. (2004). Ergonomía. p 20-45.

Viña, S. (2005). Sobrecarga y tensión térmica. Actualización. Monografía. Folleto 25p. 2005.

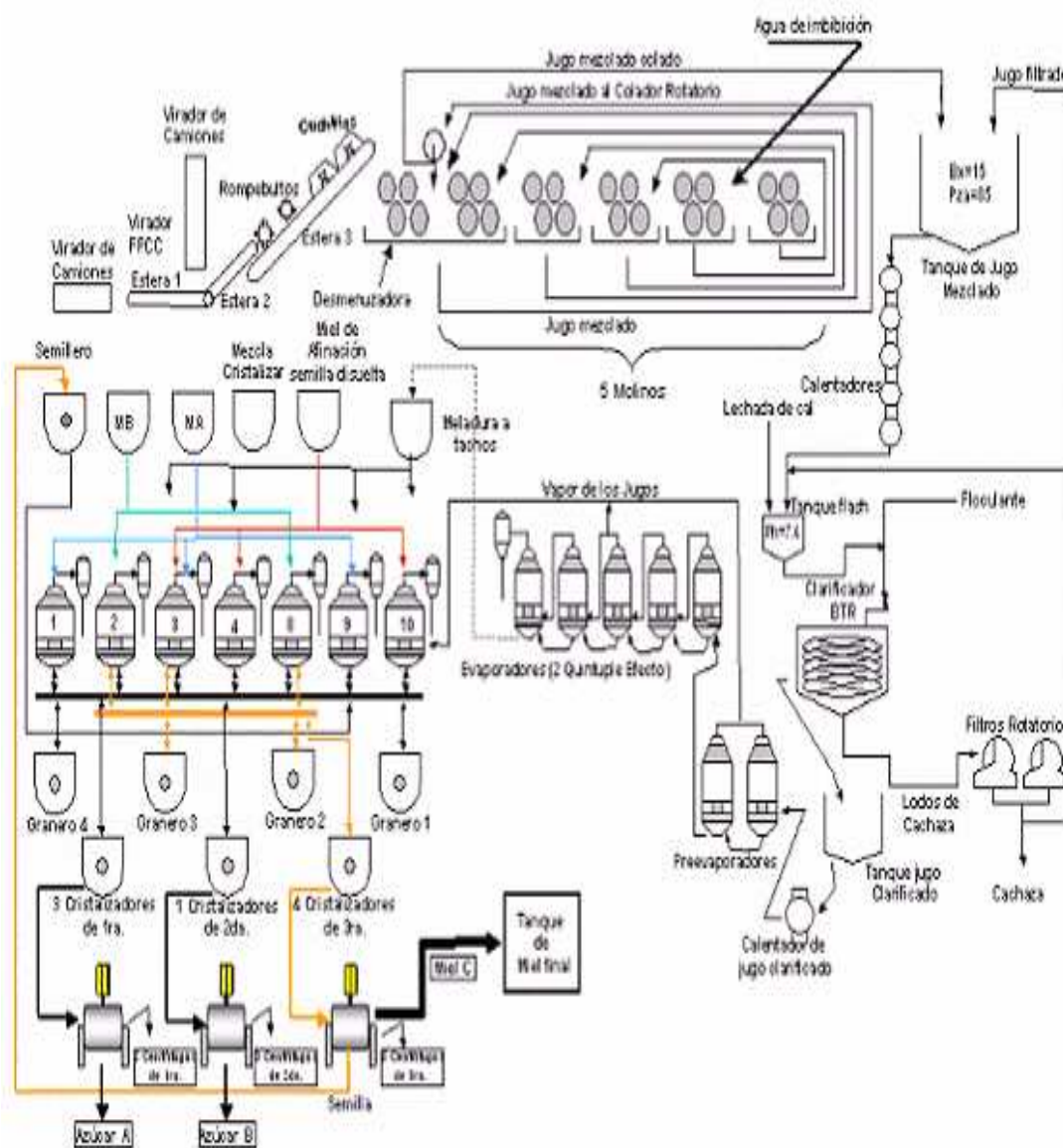
Viña, S; Rodríguez, I.; Siscal, W.; Dópico, E. 2005. Ergonomía. Capítulo 8. Ventilación. P255-369.

Woods (2004) Calefacción y acondicionamiento. Ed. Études et réalisations. Francia. Pp4-25.

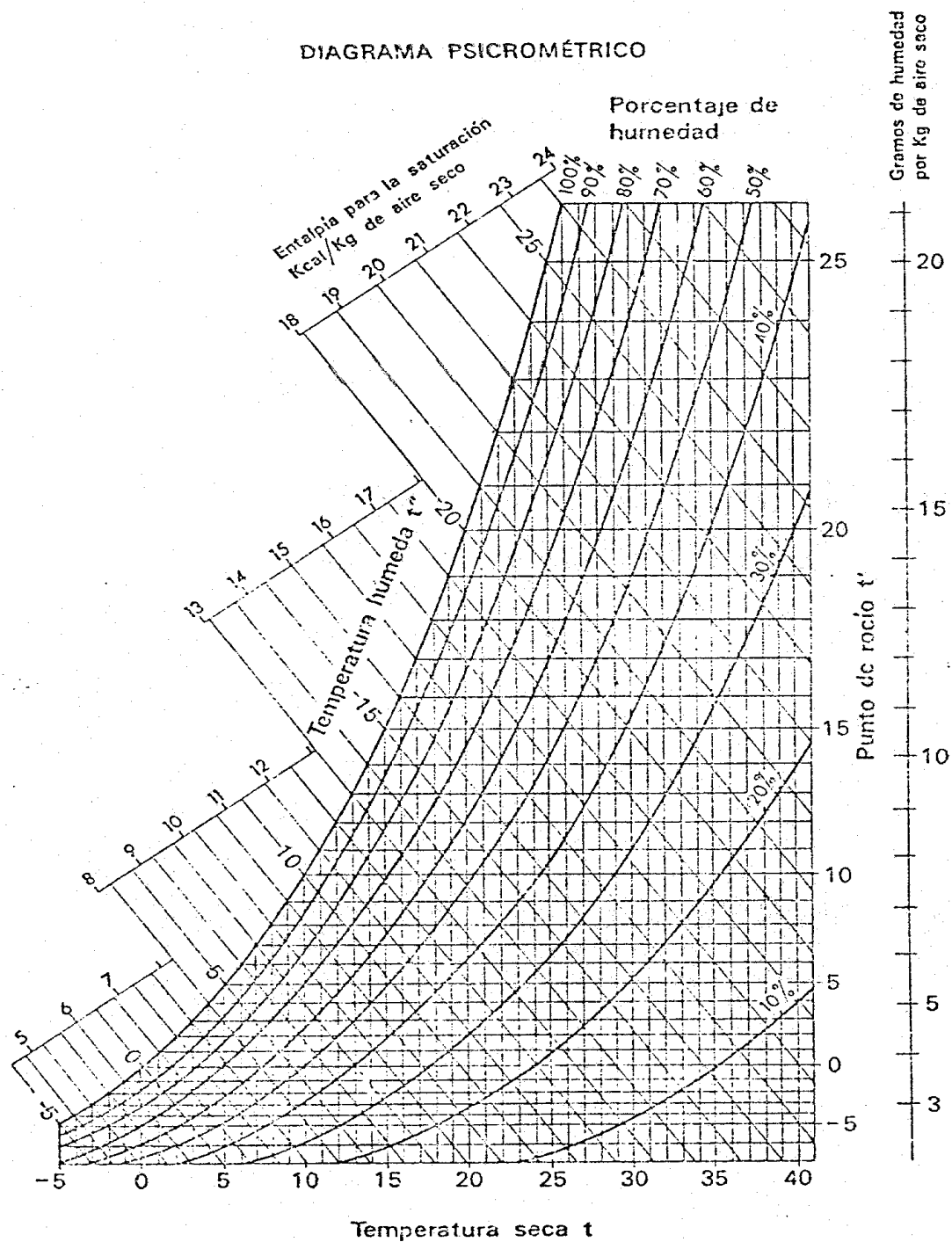
Woods (1970) Guía práctica de la ventilación. Ed. Blume. España, pp 3-800.

Anexos.

Anexo 1 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar.



Anexo 2 Carta psicrométrica utilizada para el cálculo del porcentaje de humedad relativa.



Anexo 3 Cuestionario aplicado a los expertos para determinar los factores que afectan el bienestar termal, su clasificación y medidas para mejorarlo.

Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

*Facultad de Ciencias Agropecuarias*

SUM Aguada

Carretera a Rodas, Km. 4, Cuatro Caminos, Cienfuegos, CUBA. C. P. 5943. Teléfono: 52-33-51 Fax: (53)(432) 52-27-62

#### CUESTIONARIO

El presente cuestionario fue diseñado para aplicar el Método Delphi (Método de expertos) con el objetivo de identificar los principales riesgos asociados del microclima laboral en industrias azucareras, con el propósito de evaluar la incidencia de los mismos en la actividad azucarera.

Usted forma parte de los expertos seleccionados, contamos con sus certeros criterios y su colaboración. A continuación listamos un grupo de posibles riesgos a evaluar por usted, donde la escala a considerar es ascendente, es decir, la incidencia de estos riesgos en la actividad va creciendo desde 1 hasta 5, donde: 1-Incidencia baja, 2-Incidencia medianamente baja, 3-Incidencia media, 4-Incidencia medianamente alta, y 5-Incidencia alta.

1. Por favor marque con una cruz (X) en la tabla que a continuación le presentamos. Además ordene según su criterio los riesgos seleccionados por usted de mayor a menor incidencia.

| Ordenar | Riesgos asociados                                                                                                                                           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
|         | Época del año en que se realiza el proceso fabril azucarero.                                                                                                |   |   |   |   |   |
|         | Equipamiento instalado en algunos puestos de trabajo.                                                                                                       |   |   |   |   |   |
|         | Falta de estudios ergonómicos sobre el microclima laboral de las fábricas azúcar.                                                                           |   |   |   |   |   |
|         | Pobre uso de las fuerzas favorables de la naturaleza para mejorar el bienestar termal de las industrias azucareras.                                         |   |   |   |   |   |
|         | Incidencias de las variables climáticas del municipio.                                                                                                      |   |   |   |   |   |
|         | Falta de conocimientos de los encargados de dirigir el proceso laboral sobre la incidencia de las radiaciones térmicas sobre los trabajadores industriales. |   |   |   |   |   |
|         | Incumplimiento de los rangos de los valores de las variables del microclima laboral industrial azucarero establecidos por la norma ISO 7933, (1988).        |   |   |   |   |   |
|         | Desconocimiento sobre las variables climáticas y del microclima laboral que inciden sobre el rendimiento industrial azucarero.                              |   |   |   |   |   |
|         | Plantilla del proceso fabril incompleta que demanda de mayor esfuerzo físico a los trabajadores de los puestos de trabajo involucrados.                     |   |   |   |   |   |
|         | Falta de medios de protección para proteger a los trabajadores de las radiaciones térmicas en los puestos que lo requieren.                                 |   |   |   |   |   |
|         | Otras (incluir y enumerar debajo)                                                                                                                           |   |   |   |   |   |

---

---

---

---

---

- Óptimo (define condiciones de comodidad para los trabajadores).
- Aceptable (aparecen algunas manifestaciones que provocan malestar en los trabajadores pero que no tiene efectos adversos para la salud).
- Crítico (de ser excedido provocaría la afectación de la salud de los trabajadores).

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

56