



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO WBGT PARA
LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE FLORES DE
VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial
bajo la Modalidad de Propuesta Metodológica.

Autor(a)

Mosquera Reinoso Hairo Fabián

Tutor(a)

Ing. José Luis Varela Aldás

AMBATO– ECUADOR
2022

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, MOSQUERA REINOSO HAIRO FABIÁN, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO WBGT PARA LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE FLORES DE VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 28 días del mes de Noviembre de 2021, firmo conforme:

Autor: Mosquera Reinoso Hairo Fabián

Firma:

Número de Cédula: 055015432-2

Dirección: Cotopaxi, Latacunga, Barrio La Cocha

Correo Electrónico: hairofmr@hotmail.com

Teléfono: 03-210-2141 / 0994904018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO WBGT PARA LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE FLORES DE VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA” presentado por MOSQUERA REINOSO HAIRO FABIÁN, para optar por el Título Ingeniero Industrial.

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 23 de Marzo del 2022



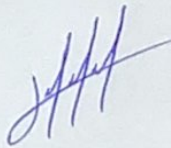
Firmado
digitalmente
por JOSE LUIS
VARELA
ALDAS
Fecha: 2022-03-
24 09:46-05:00

.....
Ing. José Luis Varela Aldás

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 23 de Marzo del 2022



.....
Mosquera Reinoso Hairo Fabián

055015432-2

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO WBGT PARA LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE FLORES DE VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Ambato, 23 de Marzo del 2022



Firmado electrónicamente por:
**MANUEL IGNACIO
AYALA CHAUVIN**

.....

Dr. Manuel Ignacio Ayala Chavín
LECTOR



Firmado electrónicamente por:
**FERNANDO
DAVID SAA**

.....

Ing. Fernando David Saá Tapia
LECTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, mi madre, mis amigos y Anderson Acuña. A Dios por haberme bendecido durante todo este tiempo, a mi madre Mercy Reinoso quien ha sabido inculcarme valores y formarme como una persona de bien, por haberme dado el amor incondicional, demostrarme que con esfuerzo y dedicación todo se cumple, a mis amigos que me enseñaron el valor de la amistad y solidaridad con quienes he compartido momentos especiales y Anderson Acuña por el apoyo, consejos que me brindo durante todo este proceso. Muchas gracias de todo corazón a quienes siempre han estado allí a mi lado. Los Quiero.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y por tantas bendiciones que recibido.

A mi madre que con su sabiduría supo siempre demostrarme el camino a seguir para llegar a este momento de finalización de mi carrera universitaria.

A Anderson Acuña por ser mi apoyo fundamental y estar pendiente de mí, en el transcurso en este proceso.

A Micaela Merino por estar siempre a mi lado en cada momento de mi carrera y ser mi apoyo incondicional en la misma.

A mi tutor el Ing. José Varela quien con ayuda, esfuerzo y compromiso he logrado alcanzar una meta más en mi vida.

Y finalmente quiero agradecer a la Universidad Tecnológica Indoamérica, sede Ambato, que se convirtió en mi segundo hogar, con ingenieros de primer nivel que además de impartir conocimientos han sabido formarme como profesional y como persona con principios éticos y morales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
APROBACIÓN DE LECTORES.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
Introducción.....	1
Antecedentes.....	4
Justificación.....	5
Objetivos.....	7
Objetivo general:	7
Objetivos Específicos:	7
CAPÍTULO II.....	8
INGENIERÍA DEL PROYECTO	8

Diagnóstico de la situación actual de la empresa	8
Información general de la empresa.....	8
Localización.....	8
Datos de la institución	8
Antecedentes de la empresa.....	9
Misión de la Empresa	9
Visión de la Empresa.....	9
Organigrama estructural	10
Problemática de la empresa	12
Área de estudio	12
Modelo operativo.....	13
Marco conceptual	15
Confort térmico	15
Estrés térmico	15
Normativa vigente	15
Evaluación térmica del ambiente	16
Nivel de estrés térmico por área de trabajo	17
Equipos de medición de estrés térmico	19
CAPÍTULO III	21
PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS	21
Encuesta inicial.....	21
Presentación de la propuesta.....	21
Modalidad de investigación.....	22
Investigación aplicada:	22
Investigación bibliográfica:.....	22
Investigación de campo:.....	22
Población y muestra	22

Recolección de datos	23
Procesamiento y análisis de datos	23
Metodología.....	23
Planificación.....	24
Diseño.....	25
Desarrollo	27
Resultados.....	32
Pruebas experimentales	32
Comparación de dispositivos	35
Validación estadística.....	36
Metodología para la medición.....	38
Evaluación del riesgo térmico	44
Propuesta de mejora	47
Resultados esperados.....	48
Cronograma de aplicación del instrumento	49
Análisis de costos	53
CAPITULO IV	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
Conclusiones.....	55
Recomendaciones	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área de estudio y delimitación del objeto de estudio.....	13
Tabla 2. Actividades y periodos que deben realizar los trabajadores en base al índice WBGT.	18
Tabla 3. Especificaciones técnicas de medidor de estrés térmico comercial.	24
Tabla 4. Comparación de las características técnicas de los dispositivos.	35
Tabla 5. Prueba de normalidad de las mediciones de ambos dispositivos.	36
Tabla 6. Estadísticas de las mediciones de cada dispositivo.	37
Tabla 7. Resultados de la prueba t para muestras independientes.	38
Tabla 8. Características de las actividades realizadas en el invernadero.....	45
Tabla 9. Cronograma de actividades	52
Tabla 10. Presupuesto de construcción de medidor de estrés.....	53
Tabla 11. Costos adicionales de la propuesta.	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la empresa.	8
Figura 2. Organigrama estructural de Samerh Flowers	11
Figura 3. Modelo operativo empresarial.....	14
Figura 4. Monitor de estrés térmico QUESTEMP ° 32.....	20
Figura 5. Medidor de estrés térmico SPER SCIENTIFIC 800036.....	20
Figura 6. Resultados de la encuesta realizada.	21
Figura 7. Diagrama del circuito electrónico.	26
Figura 8. Diseño PCB del circuito electrónico.	26
Figura 9. Diseño estructural del cuerpo del dispositivo.	27
Figura 10. Sensor de temperatura y humedad	28
Figura 11. Módulo de desarrollo M5Stack Core 2.	28
Figura 12. Placa PCB impresa del circuito y colocada en la carcasa respectiva.	29
Figura 13. Diseño final del prototipo desarrollado.....	30
Figura 14. Pantalla principal del dispositivo desarrollado.	32
Figura 15. Mediciones de la temperatura de bulbo húmedo en una jornada de 8 horas. 33	
Figura 16. Mediciones de la temperatura de globo en una jornada de 8 horas.	33
Figura 17. Mediciones de la temperatura de bulbo seco en una jornada de 8 horas.	34
Figura 18. Índice WBGT calculado en una jornada.	34

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta inicial realizada al personal de la empresa.	59
Anexo 2. Mediciones con el dispositivo comercial y el prototipo con su error de aproximación	60
Anexo 3. Área de semillero	62
Anexo 4. Área de cultivos (invernaderos)	62
Anexo 5. Invernaderos y trabajadores	63
Anexo 6. Pruebas experimentales in situ	63
Anexo 7. Toma de mediciones	64
Anexo 8. Comparación de las mediciones de los dos dispositivos	65
Anexo 9. Código de programación en c++ (Arduino IDE)	67
Anexo 10. Manual del dispositivo para la medición del índice WBGT	73
Anexo 11. Carta de conformidad de la empresa SAMERH FLOWERS	74

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO
WBGT PARA LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE
FLORES DE VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE
LATACUNGA**

AUTOR: Mosquera Reinoso Hairo Fabián

TUTOR: Ing. Varela Aldás José Luis

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa Samerh Flowers se dedica a la siembra, producción y venta de flor de verano Alelí. Se ha identificado que en el invernadero existen altas temperaturas, poca ventilación y humedad, lo que puede generar estrés térmico. Por ello, se debe analizar esto con periodicidad, con la finalidad de brindarle al trabajador un ambiente óptimo. La medición del índice WBGT permite establecer el nivel de estrés térmico, que normalmente se realiza con equipos comerciales que tienen un valor elevado. En el presente documento se establece el diseño, construcción y validación de un prototipo que tiene similares características. Para esto se han analizado los requerimientos técnicos de este tipo de equipos, componentes y funcionamiento. También se han efectuado pruebas experimentales para comprobar que las mediciones son exitosas y se establece la metodología que se debe usar para su uso. Se realiza el análisis del estrés térmico de una muestra de trabajadores, en base a lo dispuesto en la normativa nacional. Con el desarrollo de este tipo de propuestas se espera que las empresas que no cuentan con recursos económicos elevados puedan evaluar y mejorar las condiciones de trabajo de sus empleados. Así, se demuestra que con una buena sustentación teórica, científica y técnica se pueden generar propuestas de menor coste, con iguales prestaciones a las comerciales.

DESCRIPTORES:

Carga de trabajo, confort térmico, costo energético, estrés térmico, índice WBGT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y
LA COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TEMA: THE WEIGHT AUTOMATION OF THE THERMAL STRESS WBGT
FOR THE GREENHOUSE OFF THE COMPANY THAT PRODUCES THE
SUMMER FLOWERS CALLED ALELI SAMERH FLOWERS FROM THE CITY
OF LATACUNGA**

AUTHOR: Mosquera Reinoso Hairo Fabián

TUTOR: Ing. Varela Aldás José Luis

ABSTRACT

Samerh Flowers is a company dedicated to the planting, production, and sale of the summer flower Alelí. It has been identified that in the greenhouse there are high temperatures, low ventilation, and humidity, which can generate thermal stress. Therefore, this should be analyzed periodically in order to provide the worker with an optimal environment. The measurement of the WBGT index allows establishing the level of thermal stress, which is normally done with commercial equipment that has a high value. This document establishes the design, construction, and validation of a prototype with similar characteristics. For this purpose, the technical requirements of this type of equipment, components, and operation have been analyzed. Experimental tests have also been carried out to verify that the measurements are successful and the methodology to be used for its use is established. The thermal stress analysis of a sample of workers is carried out, based on the provisions of national regulations. With the development of this type of proposal, it is expected that companies that do not have high economic resources can evaluate and improve the working conditions of their employees. Thus, it is demonstrated that with good theoretical, scientific, and technical support it is possible to generate lower-cost proposals, with the same benefits as the commercial ones.

KEYWORDS:

Energy costs, thermal comfort, thermal stress, WBGT index.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

El estrés térmico por el calor es el nuevo mayor enemigo de la salud a nivel mundial, con ello al calentamiento global se pronostica que en el 2045, al menos el 50% de la población mundial vivirá en zonas de alto riesgo, el cual ya está presente en Nicaragua y el Salvador, perjudicando a jóvenes y adultos en sus actividades laborales en temperaturas que llegan alcanzar los 42°C, la cual es categorizada como “enfermedad silenciosa”, para aquellos que trabajan en campo abierto probando un trastorno de ácido úrico. (Orduñez, 2015)

En el mundo las industrias a pesar de tener avances en el campo de seguridad industrial y salud ocupacional siguen presentando altas tasas de accidentabilidad según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), considera que cada día fallecen 5300 personas debido a causas accidentales o enfermedades que tienen relación con el trabajo y que anualmente se considera que 312 millones de accidentes ocurren en relación con el trabajo. Por lo general las industrias dedicadas a la automatización de la medición de estrés térmico WBGT para los invernaderos, presentando a los trabajadores una disconformidad en su ambiente laboral y así el factor estrés térmico se hace presente.

El estrés por calor no solo afecta a los seres humanos, también a nuestra flora y fauna de cada región, por lo cual recientes estudios nombran los efectos negativos que causan las altas temperaturas en cultivos de Costa Rica, con llevan a las alteraciones en procesos fisiológicos como: la aceleración del desarrollo, estabilidad de las membranas y la respiración. En Sonora, México como cereal el

trigo es afectado por el riesgo del cambio climático, perjudicando ecosistemas de la zona y también al desarrollo industrial. (Soto, 2016)

En la actualidad el Ecuador sufre un gran impacto de calentamiento global, el cual afecta en su mayoría en las empresas productoras de flores de verano alelí, el cual, al tener invernaderos los trabajadores sufren un estrés térmico dentro de las horas de trabajo en ellos. El trabajo en invernaderos es considerado como uno de las más difíciles dentro del ámbito laboral, por las condiciones ambientales que soportan los trabajadores que desempeñan su labor dentro de los mismos.

Los valores ambientales óptimos para el desarrollo de la mayoría de las plantas cultivadas dentro de invernaderos están por encima de los que determinan una situación de confort laboral, por lo cual el trabajo en invernaderos se ve específicamente afectado por condiciones como: ventilación, temperatura radiante, humedad del aire y temperatura de ambiente. Los indicadores de estrés térmicos en un individuo hacen referencia a la función de actividad física y a la temperatura del ambiente que lo rodea.

Una buena ergonomía en un operador maximiza la producción y reduce tiempos obsoletos, a su vez disminuye costos médicos extras para alivianar enfermedades cardiovasculares, sarpullidos, golpes de calor causados por la energía calorífica generada en la planta. La importancia del estudio del confort térmico se basa en la satisfacción, desempeño humano y la conservación de la energía en el establecimiento.

El índice de estrés térmico se basa en la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de globo estas dos variables conducen a la evaluación del comportamiento térmico humano. Los dispositivos de medición empleados son los termómetros industriales de globo y de bulbo húmedo. Dentro de la planta productora es fundamental un medidor de estrés térmico WBGT, debido a que ayudara a obtener datos de estrés causado por las altas temperaturas de operación en la pequeñas y medianas empresas productoras de flores de verano alelí y con ellos ayudar al desarrollo social y económico de las industrias productoras de flores.

Algunos de los medidores de estrés térmico más utilizados dentro de la industria son los siguientes: Medidores de estrés térmico AVM-3000, medidores de estrés térmico AVM-4000, medidores de estrés térmico PCE-WB 20SD, medidor de estrés térmico PCE-8778 y Medidores de estrés térmico serie HD32, los cuales se emplean fundamentalmente para evaluar el puesto de trabajo, con ellos ayudar a que la ergonomía en los trabajadores que cumplen sus funciones en el interior de invernaderos mejore constantemente.

En otros países existen escasos estudios acerca de los trabajos en los cuales las temperaturas extremas están presentes, ya que para muchas de las empresas existe un desconocimiento sobre este impacto y los problemas de salud que los trabajadores pueden presentar; pues la exposición a estas temperaturas interfieren en la tasa de siniestros que ocurren y a su vez en sus índices de productividad debido a un descontento por parte del trabajador en sus actividades laborales, este riesgo se encuentra entre los veinte y cuatro peligros principales de los Accidentes de Trabajo por Formas No Traumáticas (ATFNT), que menciona el INSHT. Según la forma de producción de los ATFNT, esta exposición se encuentra en el número 14° del motivo causal de accidentes de trabajo, como principales se encuentran las caídas a la misma y diferente altura, golpes y caída de elementos en el área de trabajo o problemas con la infraestructura como iluminación, exceso de humedad, entre otros. Por lo cual, el riesgo de estrés térmico por calor resulta un factor peligroso en las industrias y aun así estas no toman medidas de prevención con el fin de minimizarlos o eliminarlos.

En el Ecuador numerosas industrias mantienen un descuido por el riesgo de estrés térmico, varias de estas no cumplen con la Ley Ecuatoriana vigente que incluye este factor, como son las industrias mineras, invernaderos, granjas, entre otras. El sector metalmecánico contribuye con la tasa arancelaria de la Comunidad Andina en lo que es aluminio y sus manufacturas, dando un aporte del 2.21% en participación en lo que es desperdicios y desechos de invernaderos en año 2012. Las Industrias Ecuatorianas dedicadas a la elaboración de productos extrudidos de desechos presentan factores de riesgo por el estrés térmico, muchas de ellas no poseen una

ventilación adecuada, tampoco otorgan una capacitación adecuada de los EPP's, y pocas tienen estudios realizados sobre este tema.

La normativa ecuatoriana, de forma más específica la constitución ha establecido en su capítulo VI, sección tercera y art. 326 que los individuos deben gozar de derechos relacionados a tener un ambiente laboral en condiciones propicias, así también se vele por su higiene, seguridad y todo lo referente al cuidado de su salud (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008). Asimismo lo establece en el decreto ejecutivo 2393, que es referente a la seguridad y salud de los empleados en sus puestos de trabajo, los capítulos 4 y 5 hablan de las condiciones de trabajo y el calor respectivamente (IESS, 2011).

Antecedentes

La empresa productora de flores de verano Alelí Samerh Flowers de la ciudad de Latacunga, comenzó su creación hace 4 años (2017), la cual principalmente se dedica a la siembra y cosecha de la flor de verano llamado alelí, la misma que está destinada al mercado nacional e internacional.

Las actividades que realizan los operadores se basan en trabajos de campo tales como fertilización, fumigación, siembra cosecha, riegos, selección de alelí para la exportación y producción nacional, a su vez el proceso de empaque y etiquetado de la planta herbácea. En los invernaderos es común que existan condiciones térmicas de alto riesgo en cuanto a los índices de radiación. Esto puede producir problemas en el individuo como la falta de confort, agotamiento, enfermedades del aparato urinario y de riñones, problemas en el campo hormonal y un exceso de consumo de calorías. Este desequilibrio podría generar enfermedades laborales y perjudicar el rendimiento del trabajador.

El personal podría sufrir de afectaciones térmicas como desmayos, calambres, sarpullidos, enfermedades cardiovasculares. Éstas se evitan con un eficiente sistema de control en las condiciones ambientales internas, implantación de EPPs y la supervisión de las actividades desempeñadas por el personal de la organización. (José González, 2020)

En esta empresa nunca se ha estudiado el estrés térmico dentro de sus invernaderos, lo cual es un punto muy importante por estudiar, ya que a corto o mediano plazo ayudara a mejorar los valores térmicos ergonómicos que una persona debe trabajar en ambientes cerrados.

Justificación

Es importante medir el estrés térmico en ambientes cerrados ya que nos ayuda a conocer la temperatura, radiación y humedad las condiciones actuales de las productoras de flores de verano con respecto a los riesgos que se dan dentro del ámbito laboral como empresarial, las cuales serán comparadas con las normativas de cumplimiento de los estándares de temperatura dentro de la salud ocupacional y seguridad industrial.

La investigación tiene un impacto social y económico positivo, los cuales ayudaran a prevenir los riesgos ergonómicos como enfermedades de las flores de verano y así optimizar la producción dentro de la empresa, con ello saber las medidas para corregir el estrés térmico dentro de los invernaderos de las productoras de flores de verano.

Los beneficiarios del medidor de estrés térmico serán principalmente las personas que trabajan normalmente dentro de los invernaderos, así como también los dueños de las productoras de flores de verano alelí y las mismas las cuales ayudaran a que la producción y exportación de las flores de verano tenga un desarrollo positivo dentro del aspecto económico de la provincia donde se encuentra como del país en general.

La tecnología empleada para la construcción del prototipo ofrece un dispositivo ligero para la examinación rápida de estrés térmico en la planta productora. Debe contar con un bloque de sensores para medir la temperatura húmeda, temperatura de globo y la del ambiente interno. Los sensores deben estar acoplados al dispositivo para procesar las señales y evidenciar los datos térmicos al usuario.

El costo de fabricación del dispositivo es factible en comparación a los prototipos encontrados en el mercado internacional, mediante una deducción rápida se constata que diseñar y construir un medidor de estrés térmico produce un importante ahorro. Ya que, en el mercado internacional tiene un valor de \$600 y la construcción nacional son de \$100 aproximadamente.

Este proyecto de integración curricular es ejecutable debido a que existe el apoyo técnico y analítico de la empresa productora de flores de verano Alalí Samerh Flowers de la ciudad de Latacunga.

Objetivos

Objetivo general:

Automatizar la medición de estrés térmico utilizando el índice WBGT para los invernaderos de la Empresa Productora de Flores de Verano Alelí Samerh Flowers de la ciudad de Latacunga.

Objetivos Específicos:

- Investigar los dispositivos del estrés térmico existentes en el mercado nacional e internacional en catálogos técnicos para conocer las características.
- Diseñar un prototipo de medidor de estrés térmico utilizando el índice WBGT en base a los requerimientos de los operadores con la finalidad de corregir el riesgo ergonómico en la productora de flores de verano de Alelí.
- Construir un medidor de estrés térmico WBGT usando dispositivos de bajo costo para la mejora de las condiciones ergonómicas del trabajador dentro de los invernaderos de la productora de flores de verano alelí Samerh Flowers.
- Evaluar el riesgo de estrés térmico en base a la toma de medidas de datos dentro de los invernaderos monitoreando las variables encontradas con el medidor de estrés térmico utilizando el índice WBGT.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Información general de la empresa

Nombre de la empresa: Alelí Samerh Flowers

Actividad que realiza: La empresa produce y distribuye flores de verano (Figura 1).

Localización

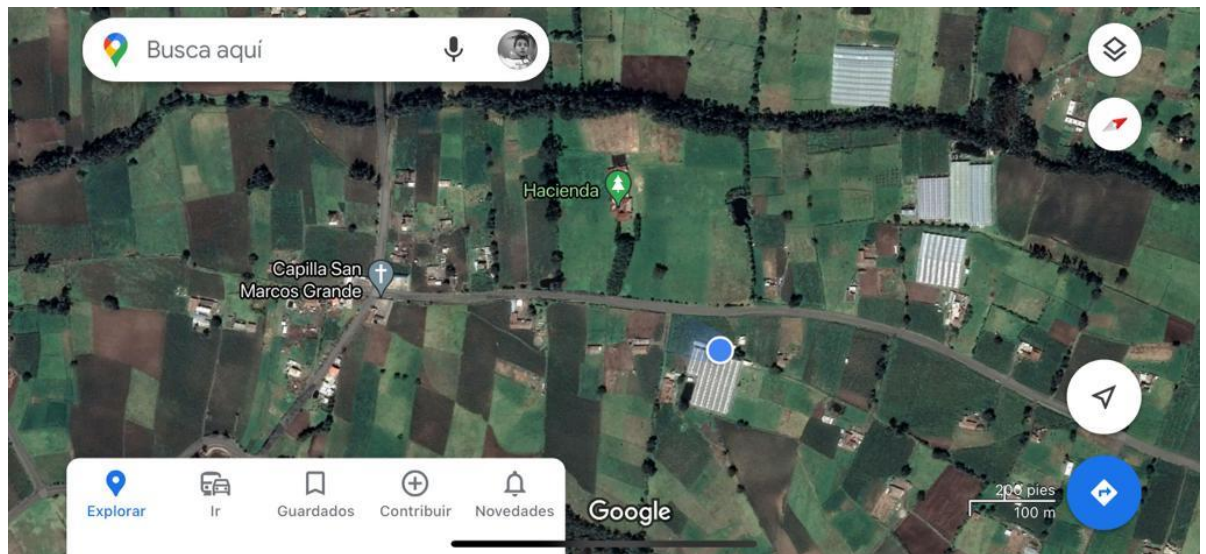


Figura 1. Localización de la empresa.

Datos de la institución

Empresa: Samerh Flowers

Dirección: Latacunga, Sector Aláquez, Barrio San Marcos a 20 Km del centro de Latacunga.

Teléfono: 0997857143 – 0997546155 - 0994904018

E-mail: samerhflowers@hotmail.com

Antecedentes de la empresa

Samerh Flowers es una empresa dedicada a la siembra, producción y venta de flor de verano específicamente Alelí, fundada en la ciudad de Latacunga el 27 de septiembre de 2017. Esta planta herbácea tiene procedencia de las zonas mediterráneas del plante, sin embargo, se ha adaptado de forma eficiente al continente latinoamericano. Existen diversas variedades de esta flor que son utilizadas de forma ornamental en arreglos, adornos de para templos religiosos, en eventos, bodas, etc.

Esta industria utilizará una técnica de reingeniería que permita definir inicial el diagnóstico de la empresa, sus procesos internos y la percepción de sus trabajadores. Posteriormente realizar el análisis térmico de las condiciones laborales y así proponer mejoras en la infraestructura que permitan tener mejorías en la producción y para los empleados.

Misión de la Empresa

No consta con una visión la Empresa Samerh Flowers.

Visión de la Empresa

No consta con una misión la Empresa Samerh Flowers.

Debido a que la empresa no consta de una misión y visión en este proyecto también se propone implementarlos.

Información general del área de producción

La empresa está conformada por las siguientes áreas:

- Área de oficinas administrativas
- Zona de Cultivo (Invernaderos)
- Zona de Semillero
- Zona de Riego
- Zona de Fumigación
- Área de Empaque
- Área de Mantenimiento
- Área de Bodega
- Área de Ventas

Estructura organizacional de la empresa

Como parte de la filosofía de la empresa se requiere que exista una misión, visión, política y objetivos alineados a la misma. Así también los valores que el personal deberá cumplir a cabalidad. Actualmente, esta industria no cuenta con una estructura organizacional correctamente establecida, la parte administrativa se compone básicamente de 4 personas encargadas del área administrativa que apoyan en las decisiones de la empresa y en todos los procesos dentro de la empresa.

Política organizacional

La empresa no cuenta con una política organizacional que constituya un sistema estructurado de principios que orienten a la toma de decisiones enfocada en los resultados que quiere obtener a pequeño y largo plazo, por ende, es necesario adoptar una política que garantice que las decisiones tomadas por tus directivos sean objetivas y subjetivas, influyendo positivamente en el comportamiento de la organización y de sus diversas áreas, esto puede incluir reglas y normativas que den una identidad propia a la entidad.

Cabe destacar que la empresa no cuenta con aspectos como visión y misión por lo que es necesario establecer estos criterios con la finalidad de aclarar la razón de ser y la perspectiva futura de la organización.

Organigrama estructural

Dado que la industria Samerh Flowers no poseía fundamentos y documentación en la Figura 2 se expone el organigrama estructural propuesto por el autor de esta investigación.

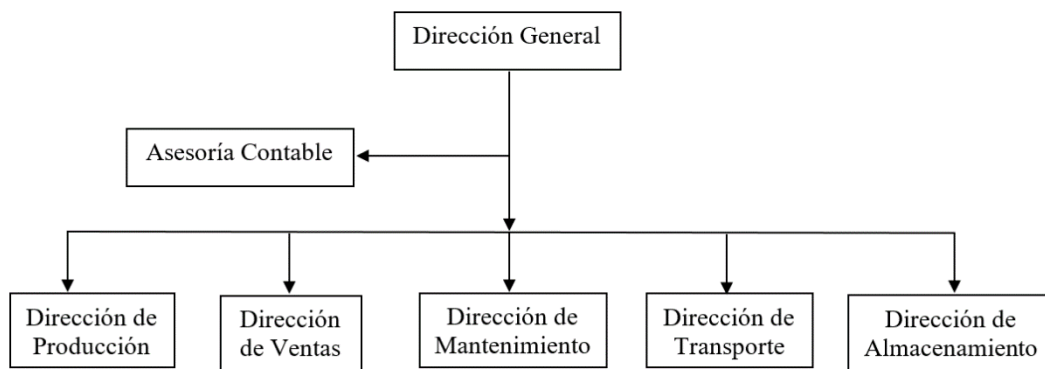


Figura 2. Organigrama estructural de Samerh Flowers

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Dirección general

El gerente direcciona a cada uno de los jefes de departamento para que puedan realizar las actividades diarias dentro de la empresa.

Asesoría contable

Es quien gestiona las actividades de entrada y salida de trabajadores además hace labores contables y ordenar las finanzas dentro de la empresa.

Dirección de producción

Es el área encargada de velar por la producción de las flores, es decir que es responsable de preparar un plan idóneo y correspondiente al presupuesto para poder llevar al mercado un producto de calidad y en los estándares correspondientes.

Es el personal que realiza la labor física y manejo de maquinaria industrial dentro de la empresa en especial en las zonas de cultivo (invernaderos), zona de semillero, zona de riego y zona de fumigación.

Dirección de ventas

Se encarga de coordinar las actividades de comercializar los productos de Alalí con el objetivo deseado de comercializar el producto y aumentar las ventas a la empresa.

Dirección de mantenimiento

Se encargan de mantener tanto equipos como instalaciones en óptimas condiciones para la realización de las actividades establecidas por la dirección de producción.

Dirección de Transporte

Consiste en la distribución del producto a los diferentes puntos de venta desde la empresa.

Dirección de almacenamiento

Encargado de mantener el producto en stock para los clientes en condiciones estables dentro de la bodega para su distribución posterior, así de igual manera a los insumos y materiales necesarios para la producción.

Problemática de la empresa

En la empresa productora de flores de verano alelí SAMERH FLOWERS se encuentran distintas áreas las cuales son: Cultivo (Invernaderos), Semillero, Empaque, Mantenimiento, Riego, Fumigación, Bodega y Ventas, donde se notó que en el área de Cultivo se presenta un gran nivel de estrés térmico, la cual no permite tener un ambiente adecuado para los trabajadores que se encuentran en dicha área, el estrés térmico es generado por ser dentro de un ambiente cerrado, cual son invernaderos de plásticos y se concentra el calor dentro del mismo, la misma que causa molestias en los trabajadores.

Área de estudio

A continuación, se describe en la Tabla 1 los lineamientos detallados para la realización del presente estudio.

Tabla 1. Área de estudio y delimitación del objeto de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO	DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO
Dominio:	Tecnología y sociedad.
Línea de investigación:	Automatización y redes
Área:	Seguridad Industrial y ambiente
Aspecto:	Monitoreo de variables ergonómicas
Objetivo:	Automatizar la medición de estrés térmico utilizando el índice WBGT para los invernaderos de la Empresa Productora de Flores de Verano Alelí Samerh Flowers de la ciudad de Latacunga.
Periodo de análisis:	Octubre 2022 – febrero 2022

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

El área de estudio se enfoca en el área de Seguridad Industrial y Ambiente de la Empresa Samerh Flowers, si los índices de estrés térmico son elevados podrían generar incomodidad en los trabajadores mientras ejecutan sus actividades lo que pueden generar enfermedades de índole laboral como los desmayos, dolor de cabeza y cuerpo, calambres, enfermedades del corazón, renales, etc. Por ese motivo se implementa la construcción de un medidor de estrés térmico utilizando el índice WBGT para los trabajadores.

Modelo operativo

A continuación, se presenta el desarrollo del modelo operativo de la Figura 3.

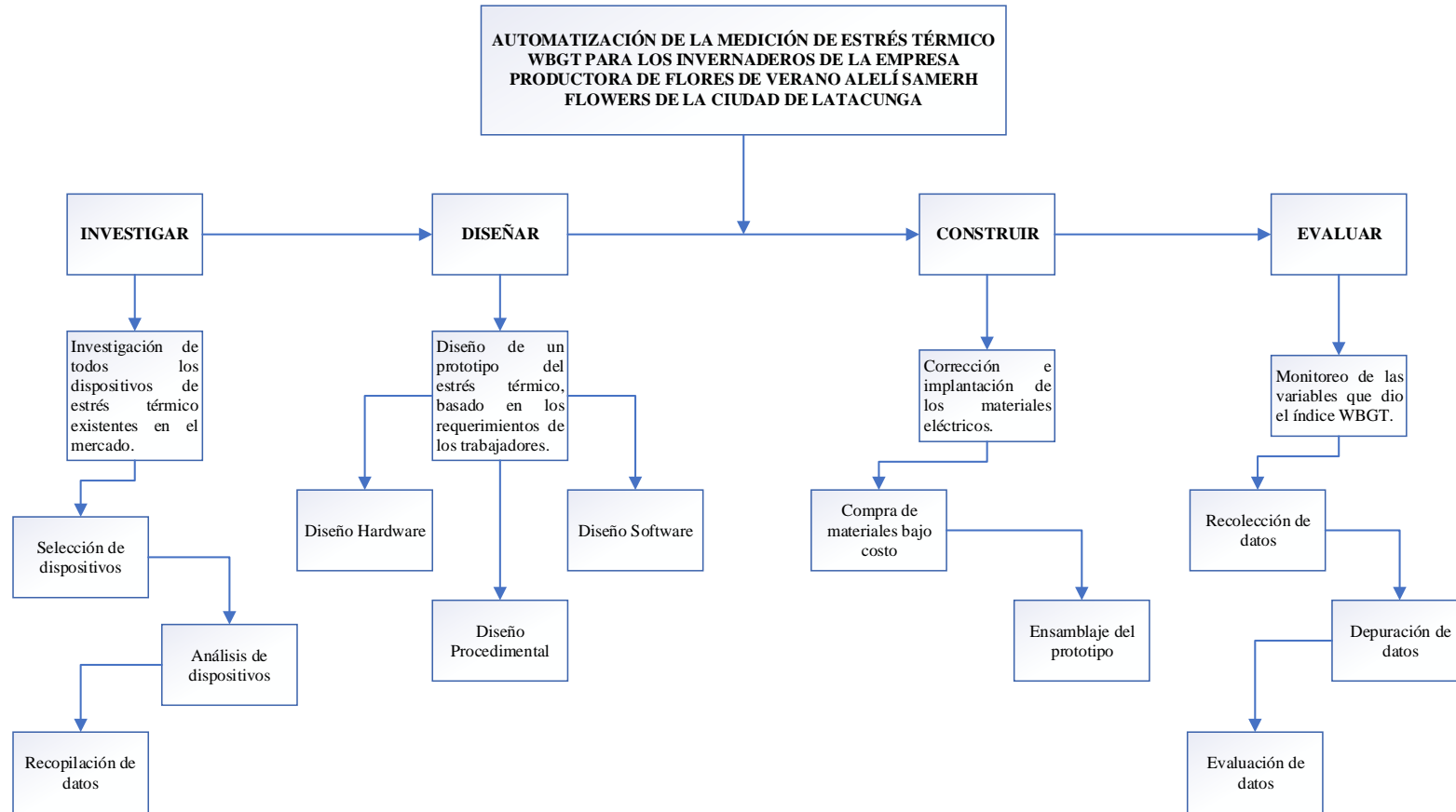


Figura 3. Modelo operativo empresarial.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Marco conceptual

Confort térmico

El confort térmico es un estado en el que la persona (el trabajador en este caso) se encuentra satisfecha con la temperatura en el lugar donde se encuentra (empresa). Es decir, existe una influencia directa del lugar de trabajo, las actividades físicas que ejecutan y su vestimenta. Es por ello que, distintas normativas a nivel nacional e internacional establecen los rangos en las que estas condiciones se deben mantener (ASHRAE F6 Fundamentals, 2001; ASHRAE F8. Fundamentals, 2001).

Estrés térmico

El estrés térmico es la sensación de molestia que experimenta la persona cuando se encuentra durante un tiempo prolongado en un ambiente que no es adecuado. Tomando en cuenta que la piel del ser humano tiene una humedad reducida, la sobreexposición a condiciones térmicas adversas produce un mayor esfuerzo para regular esto. Esto representa un reto fisiológico considerable para mantener la temperatura interna en otras sustancia corporales (Mondelo, y otros, 2013).

Normativa vigente

De forma local “la Legislación Ecuatoriana (Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, artículo 54, literal e) regula los periodos de actividad de conformidad al (WBGT), índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo, con lo que se hace necesaria la aplicación de este método para las mediciones estrés térmico para cumplir con la normativa en lo referente al ambiente laboral”. (FEBRES-CORDERO, 1986).

Mientras que a nivel internacional se considera como referencia la norma ISO 7243: Hot environments. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index (Wet bulb globe temperatures), la norma técnica española 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT y la norma ASHRAE F8 (ISO, 2017), (INSHT, 1992).

Evaluación térmica del ambiente

En la industria ecuatoriana se deben preservar las condiciones e infraestructura en las que el personal se desempeña. Existen condiciones desfavorables como ambientes con malos olores, humedad, infraestructura en mal estado, incremento de la temperatura corporal. Existen diferentes índices para la evaluación del riesgo que supone un puesto laboral con características térmicas excesivas. Para conocer el riesgo que esto supone, frecuentemente se usan: el índice WBGT y el índice de sudoración requerida. El primero, relaciona la humedad relativa, radiación, temperatura ambiente, está recomendado en acciones de larga duración. El segundo índice, basado en el estudio del balance térmico (Ménendez Díez, 2006).

Índice de Sudoración Requerida

Otro de los métodos más completos para determinar estrés térmico es el índice de la sudoración requerida SW_{req} (ecuación 1) desarrollado por Vogt, Candas, Libert&Daull en 1981, y recogido en la norma ISO 7933. Se debe denotar que en este índice intervienen las siguientes consideraciones, que son relacionadas a la temperatura de radiación media y la del aire, la velocidad que posee el aire, el aislamiento que se tiene en la vestimenta del personal, y la humedad relativa.

$$SW_{req} = \frac{E_{req}}{E} * 10 \quad (1)$$

Donde:

E_{req} : es el calor latente intercambiado a través de la respiración.

E : es el calor intercambiado por la evaporación del sudor.

Índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo

El índice WBGT es frecuentemente usado para determinar la influencia de los factores térmicos sobre el personal que labora en interiores y exteriores. Anteriormente para su

cálculo se requería de tres mediciones que eran obtenidas por instrumentos por separado, en la actualidad estas lecturas se realizan a través de un dispositivo medidor de estrés térmico.

Si bien el método más exacto incluye la medición de indicadores fisiológicos del ser humano, se han desarrollado métodos más sencillos y de amplia aplicación. El índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) que en su traducción sería el índice de temperatura de bulbo húmedo y de temperatura de globo (Lamberts, 2002). Con este valor se estima la afectación de la humedad, temperatura, velocidad del viento (sensación térmica) y la radiación visible e infrarroja (luz solar) en la persona. Es utilizado por especialistas de varias áreas de conocimiento para establecer los niveles convenientes de exposición térmica. Este indicador se fundamenta en la medición de la temperatura de bulbo húmedo y de globo.

Temperatura de bulbo húmedo (TBH): corresponde a la temperatura que se puede examinar mediante un termómetro cubierto con un paño empapado de agua sobre el cual circula aire. Al existir una humedad relativa del 100%, la TBH es idéntica a la temperatura de bulbo seco o del aire (T). Sin embargo, al disminuir la humedad, la TBH es inferior a la T ya que existe un enfriamiento por evaporación.

Temperatura de globo (TG): se mide con un termómetro colocado dentro de un globo negro especial de cobre. Se usa para estimar la radiación solar sin los efectos de la luz misma. Actualmente, esta medición se puede realizar de forma directa mediante sensores comerciales que realizan estos cálculos internamente.

Temperatura de bulbo seco (T): Temperatura del aire que marca un termómetro común.

Nivel de estrés térmico por área de trabajo

Una persona que se encuentra en un puesto de trabajo, el mismo que se encuentra en un área con influencia de la temperatura, requiere de un análisis y supervisión constante, ya que el talento humano es lo más importante para una empresa y no debe estar expuesto a temperaturas elevadas.

Como ya se mencionó previamente, la normativa ecuatoriana establece que es un deber del empleador cuidar las condiciones de trabajo de su organización. De forma especial aquellas zonas que son consideradas de peligro, en este caso de estudio en el invernadero. Para ello se debe revisar el índice WBGT y el consumo de calorías que estas actividades generan en los trabajadores. Todas las empresas que tengan procesos donde hay presencia de calor deben realizar mediciones de estrés térmico y adecuar los puestos de trabajo para entregar el mayor confort al trabajador (Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo). En base al decreto ejecutivo 2393 se expone en la Tabla 2 el tipo de trabajo que se propone realicen los trabajadores.

Tabla 2. Actividades y periodos que deben realizar los trabajadores en base al índice WBGT.

TIPO DE TRABAJO	CARGA DE TRABAJO		
	LIVIANA	MODERADA	PESADA
	Inferior a 200 Kcal/hora	De 200 a 350 Kcal/hora	Igual o mayor a 350 Kcal/hora
Trabajo continuo	WBGT=30.0	WBGT =26.7	WBGT =25.0
75% trabajo, 25% descanso cada hora	WBGT =30.6	WBGT =28.8	WBGT =25.9
¿50% trabajo, 50% descanso cada hora	WBGT =31.4	WBGT =29.4	WBGT =27.9
25% trabajo, 75% descanso cada hora	WBGT =32.2	WBGT =31.1	WBGT =30.0

Fuente: (IESS, 2011).

Este estudio comprende al personal que se encuentra laborando en el proceso de producción de flores de verano de la empresa ALELÍ SAMERH FLOWERS. Para llevar a cabo el análisis se tomará como referencia el horario de trabajo y la función que desempeña en la producción y la carga térmica metabólica (CTM) que se necesita para desarrollar esta actividad.

Para poder obtener un menor índice WBGT es importante que se consideren cambios estructurales en la empresa. Si la empresa no está dispuesta a realizarlo se podrían presentar las enfermedades y problemas ya expuestos. En función de la tabla anterior la empresa analiza que son evidentes las dificultades que presentan los trabajadores en los tres últimos años por los niveles de estrés térmico, esto hace que la empresa tome la iniciativa de automatizar un sistema de medición de estrés térmico utilizando el índice WBGT para precautelar salud y mejorar la calidad del producto.

Equipos de medición de estrés térmico

En la actualidad la cantidad de instrumentos que permiten medir o identificar el índice de estrés térmico es elevada. Es común que se realicen estimaciones con base en la temperatura ambiental y el porcentaje de humedad relativa, utiliza la temperatura de bulbo húmedo y temperatura de globo. Entre los diferentes medidores de estrés térmico comerciales, el medidor Quest 32 (fabricado en EUA.) es uno de los más utilizados y su valor de compra es de aproximadamente USD 2300 (Figura 4). Asimismo se tiene el medidor de estrés térmico SPER SCIENTIFIC 800036, con un valor superior a los \$500, que se presenta en la Figura 5. Son usados para cumplir con las evaluaciones que el personal de salud y seguridad laboral realiza en las organizaciones.



Figura 4. Monitor de estrés térmico QUESTEMP ° 32

Fuente: (INTECCONINC, 2022)



Figura 5. Medidor de estrés térmico SPER SCIENTIFIC 800036.

Fuente: (SPER SCIENTIFIC, 2011)

El elevado costo de estos medidores, sumado a la necesidad de cuantificar el estrés térmico al que están sometidos los trabajadores en las industrias de la región, condujo al desarrollo de un instrumento portátil y autónomo que mide este parámetro, que cumple con las especificaciones determinadas en la norma, que ofrece prestaciones similares a las encontradas en los medidores comerciales y cuyo costo de materiales para su construcción es menor.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Encuesta inicial

Como parte del diagnóstico inicial del trabajo realizado se desarrolló una encuesta para conocer las necesidades del personal en materia de seguridad y salud ocupacional. El cuestionario presentado se puede apreciar en el Anexo 1, acorde al formato de la empresa. Los resultados de la encuesta que se aplicó a los trabajadores del invernadero se disponen en la Figura 7. Existe una baja aceptación en cuanto a la temperatura ambiental y por el contrario una alta sensación de radiación y sudor durante las actividades realizadas. También se puede evidenciar el desconocimiento del índice de radiación y la falta de capacitaciones. Finalmente, consideran importante el monitoreo de la radiación y proponer cambios en las instalaciones.



Figura 6. Resultados de la encuesta realizada.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Presentación de la propuesta

Se propone diseñar, construir e implementar un medidor de estrés térmico (WBGT) para los invernaderos de la empresa productora de flores de verano alelí samerh flowers de la

ciudad de Latacunga. Posterior a ello se realizará un análisis de las condiciones térmicas del área productiva donde existe una mayor incidencia de radiación. De forma inicial, se definieron aspectos organizacionales de la empresa que antes era inexistentes, como la misión y visión, política, organigrama y modelo operativo descritos anteriormente.

Modalidad de investigación

Investigación aplicada:

Se basa en conocimientos que el investigador posee para solventar un problema que ha sido identificado en la sociedad.

Investigación bibliográfica:

Se realiza la revisión de documentos técnicos relacionados con la temática en las bases de datos indexadas Latindex, Scopus y DOAJ. Esta revisión incluye tesis de pregrado y posgrados, así como artículos de conferencias y revistas de alto impacto.

Investigación de campo:

Se aplica para entender la problemática, en la elaboración del diseño, recolección de información y pruebas experimentales.

Población y muestra

En la empresa laboran 12 personas, sin embargo, solo se han considerado a los trabajadores de las áreas productivas que son 4. En este caso, con un tamaño de población (N) de 4 individuos, un nivel de confianza (p) del 95% y un margen de error (e) del 5% se obtiene que se debe trabajar con todos ellos, en base a lo dispuesto en la ecuación (2).

$$n = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2 * N} \right)} \quad (2)$$

Recolección de datos

La recolección de datos cuantitativos se efectúa través de la investigación de campo, en la ubicación de la empresa que ya se describió previamente. Para el análisis térmico se considera la guía para la evaluación del riesgo por exposición al calor. Ésta permite definir las áreas de la empresa que podrían representar un riesgo. Esto será aplicado a toda la muestra para identificar la existencia de riesgo.

Para la parte cualitativa se dispone elaborar una encuesta para conocer su opinión sobre la propuesta que buscar reducir este índice. Este tipo de propuestas poseen un uso sencillo en aplicaciones in situ y de campo. Con estos resultados se pueden hacer análisis efectivos.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos recopilados en la investigación de campo serán tabulados, comparándose lo obtenido con el prototipo y con un dispositivo de uso comercial. Esta información se presentará en forma gráfica, con su interpretación respectiva. Para el análisis de las encuestas se dispondrán los resultados de forma tabulada.

Metodología

Para la elaboración de este dispositivo se debe seguir una metodología de desarrollo de hardware y software. Luego del análisis respectivo se ha considerado la metodología de Top-Down como la más apropiada. Ya que partiendo del dispositivo se captura la idea con un alto nivel de abstracción se considera replicarlo a detalle. Esto con la finalidad de reducir recursos computacionales y de tiempo, evitando invadir otros enfoques. La estructura que se seguirá comprende:

- Planificación: Revisar los requerimientos del usuario.
- Diseño: Definir como se realizará.
- Desarrollo: Construcción de la propuesta de solución
- Verificación del prototipo: Entrega al usuario y ensayos experimentales.

Planificación

Las reuniones con el personal y la observación del investigador in situ evidencian la necesidad de medir la exposición térmica de los trabajadores durante su jornada laboral. Con ello se definen las condiciones ambientales en las cuales trabajará el dispositivo. Esto incluye una humedad relativa entre el 25 y el 65%, temperaturas entre 5 y 40 °C y niveles sonoros oscilando entre 80 y 110 dB.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de medidor de estrés térmico comercial.

	Rango	Resolución	Precisión
WBGT	0 a 50°C, 32 a 122°F	0,1°C/F	±2°C interior, 3°C exterior (-15 a 40°C) de lo contrario ±2,5 interior, 3,5°C exterior
Temperatura de aire			±0,6°C
Temperatura de globo	0 a 80°C 32 a 176°F		±2°C (entre 15 y 35°C)
Humedad relativa	0 a 100%	0,1 %HR	±3% (entre 10 y 90%), en otros casos es ±5%

Fuente: (SPER SCIENTIFIC, 2011)

En base a la búsqueda bibliográfica y el contexto local se eligió el medidor de estrés térmico y WBGT de SPER SCIENTIFIC 800036, cuyas características técnicas se resumen en la Tabla 3. Las medidas son 248 x 51 x 32 mm, 4,6 oz / 130 g de peso y 38 mm de diámetro del globo.

Diseño

Cálculo del índice WBGT

La temperatura de bulbo húmedo y de temperatura de globo se calcula mediante la ecuación (3) para interiores. Mientras que para la evaluación en ambientes exteriores se utiliza la temperatura ambiente (T), como se expresa en la ecuación (4).

$$WBGT = 0,7*TBH + 0,3*TG \quad (3)$$

$$WBGT = 0,7TBH + 0,2TG + 0,1T \quad (4)$$

Donde,

Tanto la temperatura de globo, como la del aire se pueden establecer mediante la medición de un sensor. Pero para el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo se realizan varias operaciones matemáticas que pueden expresarse de forma más simple en la ecuación (5). Ésta utiliza los valores de T (en grados Celsius) y el porcentaje de humedad relativa (%HR).

$$TBH = T * \arctan \left[0.151977 * (\%HR + 8.313659)^2 \right] + \arctan (T + \%HR) \\ - \arctan (\%HR - 1.676331) + 0.00391838 * (\%HR)^{3/2} * \arctan (0.023101 * \%HR) \\ - 4.686035 \quad (5)$$

Diseño electrónico

El diseño se ha efectuado siguiendo el requerimiento de simplicidad y se dispone en la Figura 7. Mientras que en la Figura 8 se dispone el diseño PCB de la placa que se va a imprimir posteriormente.

Dispositivos de entrada

Se consideran los sensores para la medición de la temperatura ambiente, temperatura de globo y el sensor encargado de medir la humedad relativa porcentual. Estos deben tener salidas digitales para conectarse a la tarjeta de control. Los sensores podrían requerir un

acondicionamiento, filtrado o acoplamiento de las señales de entrada, sin embargo, se han elegido modelos que no lo requieren y por ello se desprecia este procedimiento.

Unidad de procesamiento

Como una unidad de procesamiento de este prototipo se va a utilizar una tarjeta embebida de bajo costo. Ésta debe tener fácil conexión con sensores, actuadores y una pantalla para la visualización de datos.

Elementos adicionales

Se dispone de una baquelita para el diseño impreso de los circuitos, borneras para colocar los elementos antes mencionados y los cables de conexión.

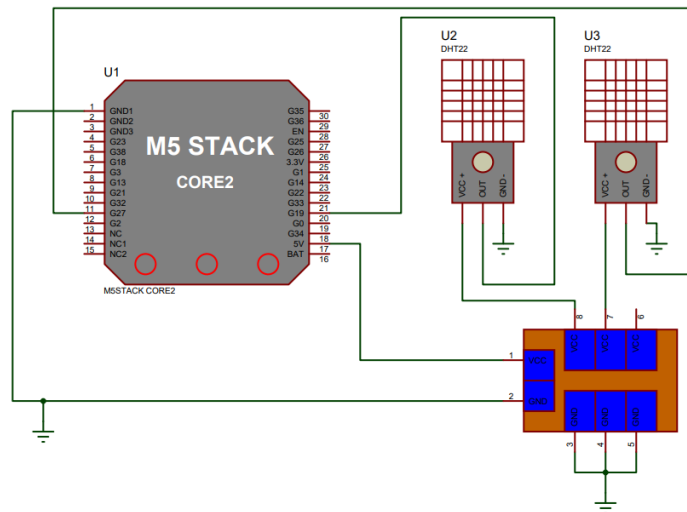


Figura 7. Diagrama del circuito electrónico.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

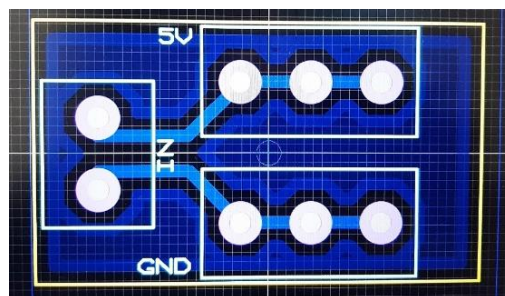


Figura 8. Diseño PCB del circuito electrónico.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Diseño estructural

Se realiza el diseño del cuerpo principal del medidor en SolidWorks que protege los elementos en su interior, como se aprecia en la Figura 9. El circuito electrónico antes descrito se incorporará dentro de una caja de material sintético. Aquí se disponen el sensor que mide las diferentes temperaturas y humedad. En el sensor se coloca una esfera hueca de cobre de color negro. Finalmente dejar un espacio para colocar el display LCD empleado para visualizar los resultados.

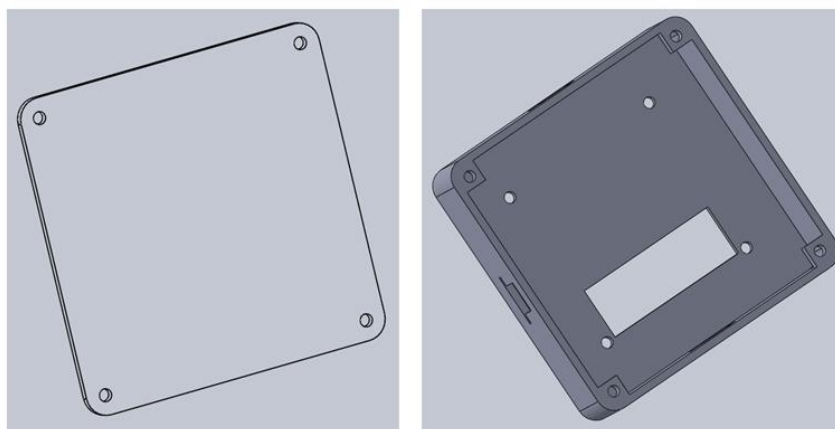


Figura 9. Diseño estructural del cuerpo del dispositivo.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Desarrollo

Hardware

Existen dispositivos que miden temperatura y humedad por separado, por ello se eligió el módulo/sensor de temperatura y humedad relativa con salida digital DHT22 (AM2302). La alimentación requerida está en el rango de 3,3 a 6V. Los elementos que ejecutan la detección poseen una resolución de 8 bits, con una salida de señal digital calibrada de un solo bus (bidireccional). La comunicación entre el sensor y la tarjeta de control es a través de un solo hilo. Posee un tamaño pequeño, consumo energético reducido y transmisión a una distancia de hasta 20 metros. El cálculo de temperatura se realiza mediante un termistor que mide el aire adyacente, en un rango de -40 a 80 °C, con precisión de $\pm 0,5$

°C y resolución de 0,1 °C. También se incorpora un sensor capacitivo de humedad de alta sensibilidad que opera del 0 a 100 %HR, con precisión de ± 2 %HR y resolución de 0,1 %HR. En la Figura 10 se puede apreciar su aspecto con su respectivo cable de alimentación (Aosong Electronics Co.,Ltd, 2005).

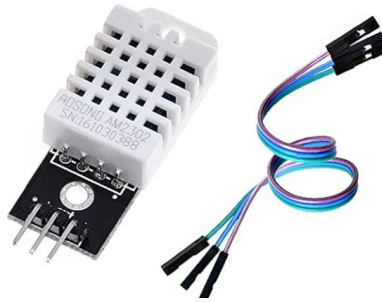


Figura 10. Sensor de temperatura y humedad

Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd, 2005).

Como unidad central de procesamiento de este sistema se tiene el Core2 de M5Stack. Su forma física y su interior se disponen en la Figura 11. Ésta basa su funcionamiento en el módulo ESP32 con una pantalla LCD táctil incorporada donde se visualiza la información requerida. En cuanto se memoria se tienen 16 MB de memoria flash y 8 MB de PSRAM, donde se carga el sistema operativo y se realizan los scripts de programación. Adicional se dispone de un slot para tarjetas externas, donde se coloca una microSD de 8 GB de categoría 10, para el almacenamiento de los datos de las mediciones.

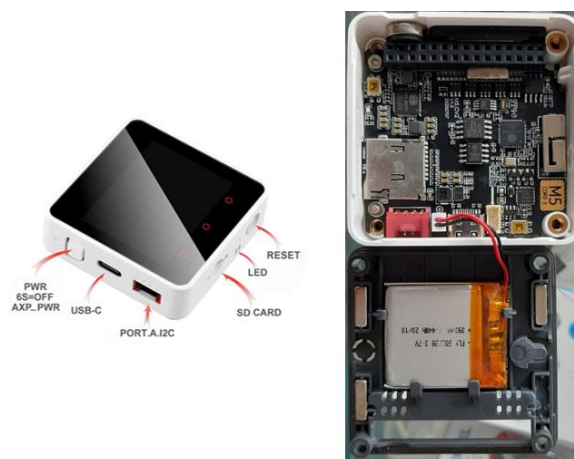


Figura 11. Módulo de desarrollo M5Stack Core 2.

Fuente: (M5STACK, 2022)

Este módulo tiene una batería interna de 5 V con 390 mAh, que se carga mediante un conector USB tipo C. El tiempo de carga de la misma es de entre 2 y 3 horas, mientras que la descarga se realiza en unas 10 horas en promedio. Es por esto que el prototipo no puede estar encendido todo el día y se limita a la jornada del personal. A pesar de ello, se podría utilizar de forma constante, sin embargo, se estarían desperdiciando recursos y no es óptimo para esta aplicación. El esquema general del circuito electrónico se dispone en la Figura 12.

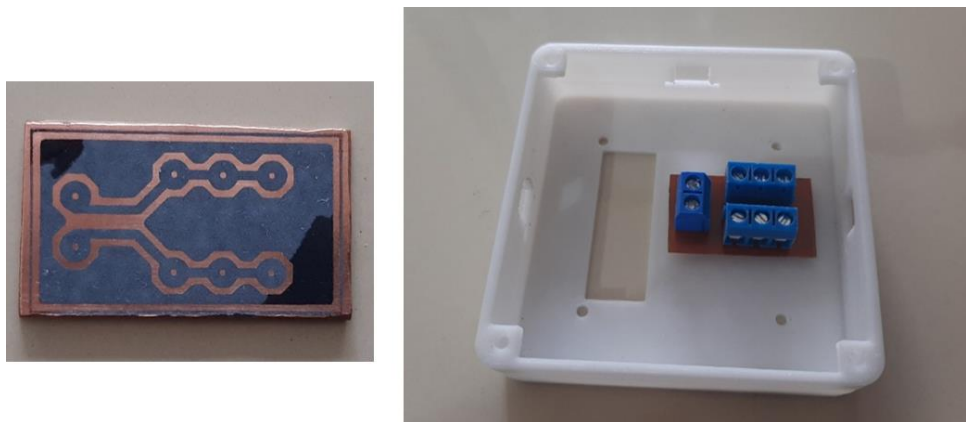


Figura 12. Placa PCB impresa del circuito y colocada en la carcasa respectiva.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Estructura

En base al diseño presentado en la Figura 8 se procede a construir la estructura del dispositivo con una impresora 3D. Utilizando material PLA de color blanco se obtiene una carcasa ligera pero resistente, con alta protección a impactos y caída. El producto final se y su integración con los elementos anteriores en la Figura 13 (a).

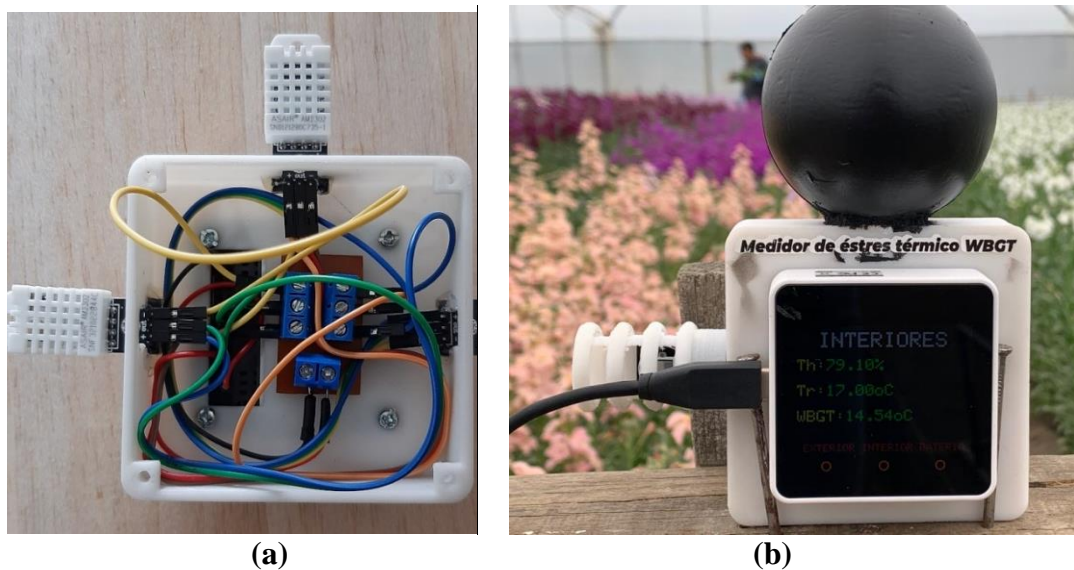


Figura 13. Diseño final del prototipo desarrollado.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Se utilizó un globo de aproximadamente de 60 mm de diámetro, que se puede apreciar en la Figura 13 (b). Su material es cobre (de alta conductividad térmica) con un espesor de 0,3 mm. Éste tiene color negro opaco que lo cubre totalmente para absorber la radiación existente en el lugar donde está. Así, el globo tiene un balance térmico que lo aísla de los efectos de los intercambios entre las fuentes de radiación del ambiente y producto de la convección. Esto a su vez permite que la TG sea medida con precisión.

Software

El proceso inicia con la instalación de un driver en la computadora para que el módulo M5Core2 pueda ser reconocido y se trabaje con él. El lenguaje de programación utilizado es C++ mediante el IDE de Arduino, la versión más actualizada es 1.8.19. Esta plataforma es de código abierto y facilita la escritura de código y que se cargue en la tarjeta por medio del conector USB tipo C. Este software se puede usar comúnmente con cualquiera de las placas de Arduino, aunque en este caso se realiza con ESP32. Existe una base amplia de librerías, código y ayuda de la comunidad de desarrollo está alojado en GitHub (ARDUINO, 2022).

Se proceden a instalar algunas librerías que permiten el uso de distintos recursos externos y se mencionan a continuación. La librería DHT.h permite la comunicación con el sensor DHT22 y la obtención de los valores de temperatura y humedad relativa. La librería M5Core2.h admite el acceso al módulo con compatibilidad con la arquitectura ESP32. Así también se tiene la librería FS.h para el manejo del microcontrolador previamente mencionado. La librería SD.h admite el trabajo con tarjetas SD externas que para esta aplicación es importante. SPI.h se usa para el manejo del protocolo SPI y math.h para el desarrollo de operaciones matemáticas básicas.

Se definen las variables que se van a utilizar para la adquisición de la información proveniente del sensor en cuanto a temperatura y humedad. Así también las variables en la que se guarda el resultado de las operaciones de acondicionamiento de señales. Utilizando la ecuación (5) se obtiene el valor de la temperatura de bulbo húmedo. Posteriormente se calcula el valor numérico del índice WBGT, mediante las ecuaciones (3) y (4) dependiendo de la ubicación.

Se agregan los comandos que permiten mostrar mensajes en la pantalla táctil, como parte de la información que se le presenta al usuario. Así también existen 3 opciones que permiten seleccionar si se trataba de interiores, exteriores o revisar el nivel de batería. En la pantalla se muestran los valores de la temperatura de bulbo húmedo (denominada T_h), temperatura de globo (denominada T_r), temperatura de bulbo seco (denominada T_s) y el valor del índice WBGT. Al mismo tiempo, en el script se ha configurado que se guarden estos datos cada 10 segundos. Esta información se guarda en un archivo de extensión .txt y se ha establecido que se almacenen en una tarjeta microSD. En la Figura 14 se puede observar la pantalla principal del dispositivo.



Figura 14. Pantalla principal del dispositivo desarrollado.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Resultados

Pruebas experimentales

Se realizan pruebas experimentales para corroborar el buen funcionamiento del dispositivo durante una jornada laboral. A continuación se presentan los datos obtenidos en cada una de las variables que intervienen en el cálculo del índice. Se disponen las gráficas de temperatura de bulbo húmedo, de globo y de bulbo seco en las Figuras 15, 16 y 17 respectivamente. En la Figura 18 se presentan los índices WBGT calculados.

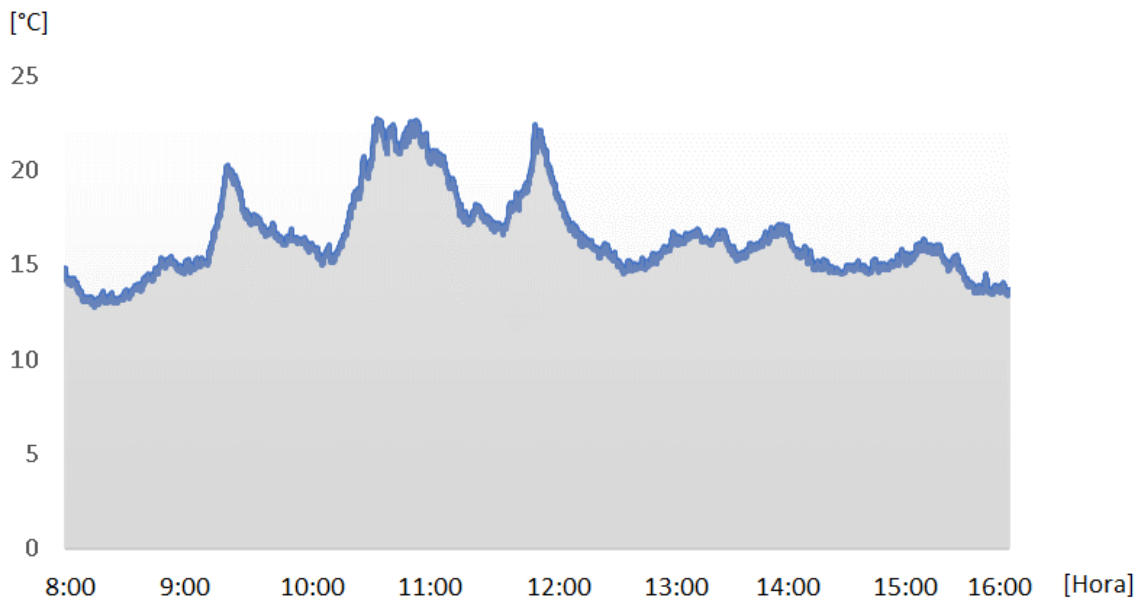


Figura 15. Mediciones de la temperatura de bulbo húmedo en una jornada de 8 horas.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

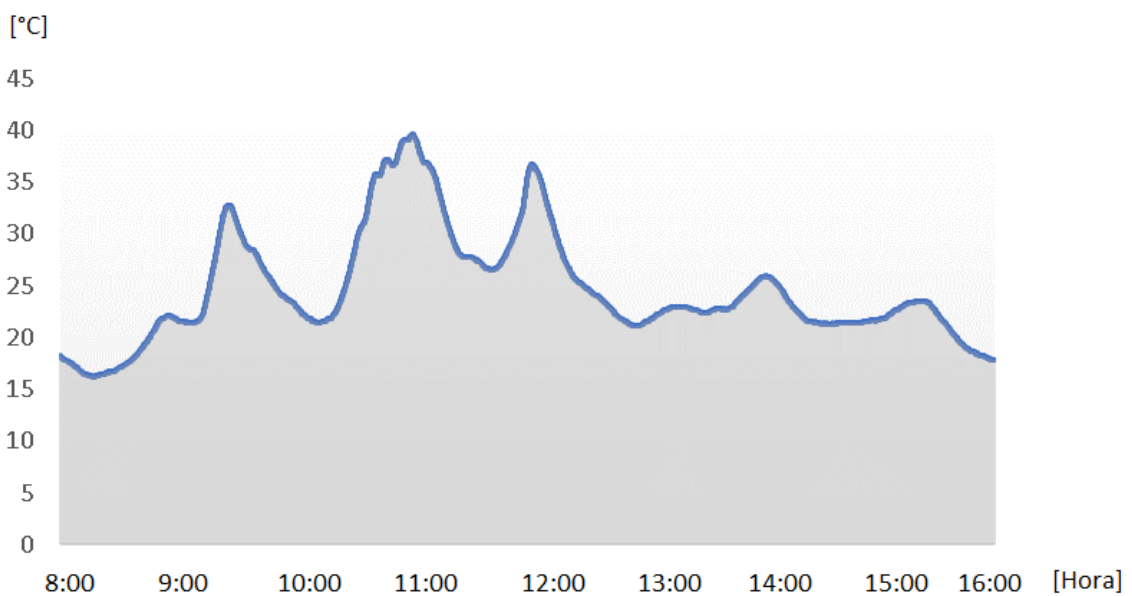


Figura 16. Mediciones de la temperatura de globo en una jornada de 8 horas.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

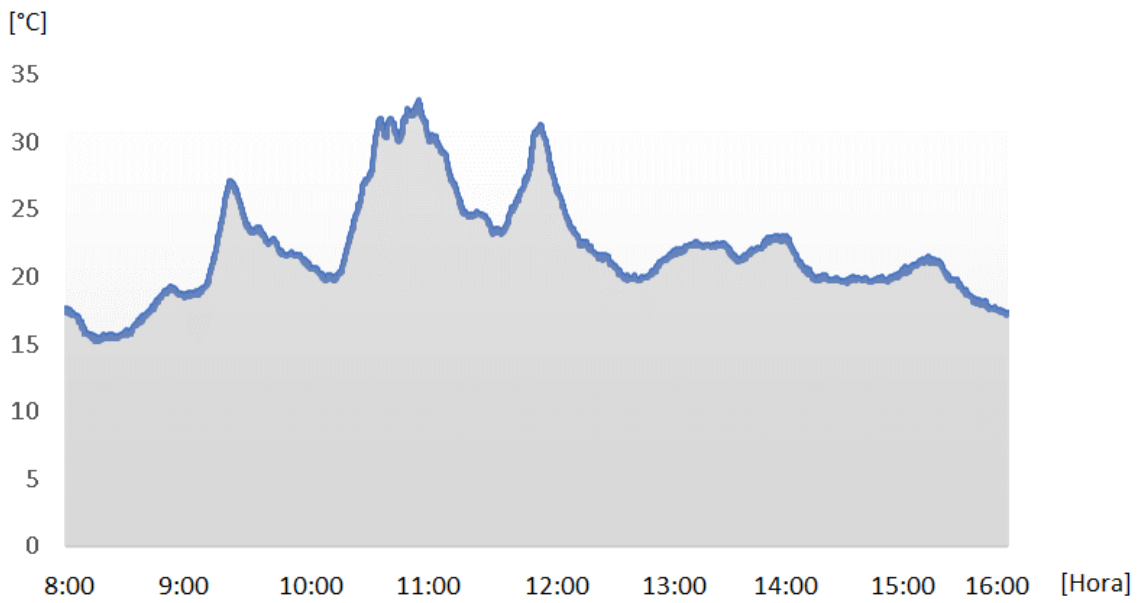


Figura 17. Mediciones de la temperatura de bulbo seco en una jornada de 8 horas.

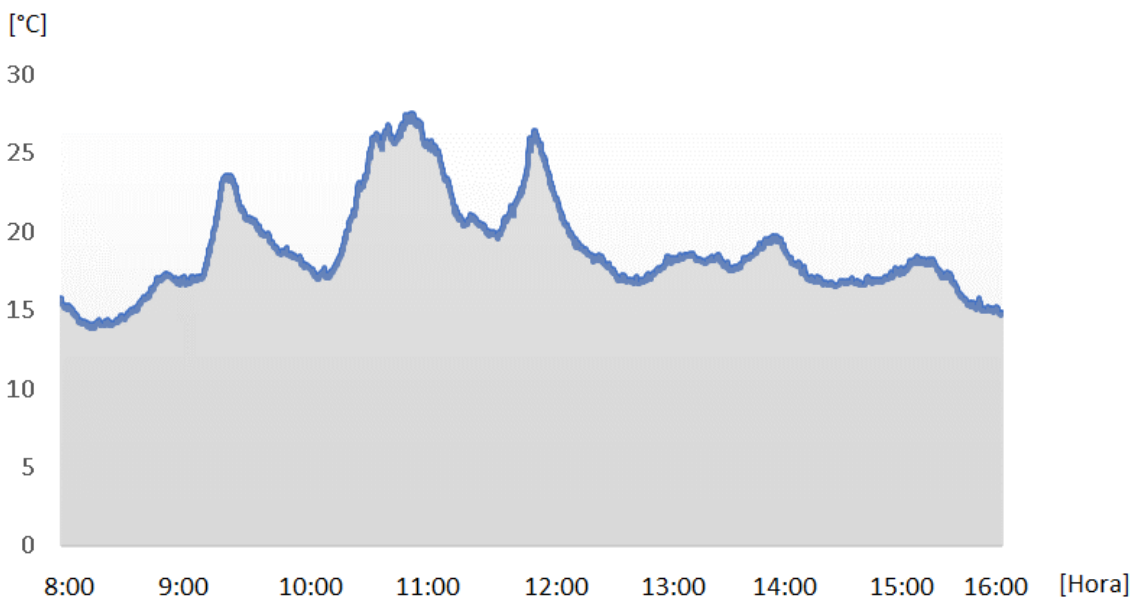


Figura 18. Índice WBGT calculado en una jornada.

Comparación de dispositivos

Como última etapa de la metodología se realiza la verificación del prototipo y para ello se analizan si las características técnicas del prototipo se asemejan a las de un dispositivo comercial que fue presentado previamente. En la Tabla 4 se describe su comparación.

Tabla 4. Comparación de las características técnicas de los dispositivos.

	Dispositivo	Rango	Resolución	Precisión
WBGT	Comercial	0 a 50°C, 32 a 122°F	0,1°C/F	±2°C interior y 3°C exterior.
	Prototipo	0 a 50°C, 32 a 122°F	0,1°C/F	±1,5°C interior y ±2°C exterior.
Temperatura de aire	Comercial	0 a 50°C, 32 a 122°F	0,1°C/F	±0,6°C
	Prototipo	-40 a 80 °C -40 a 176 °F	0,1°C/F	±0,5°C
Temperatura de globo	Comercial	0 a 80°C 32 a 176°F	0,1°C/F	±2°C (15 a 35°C)
	Prototipo	0 a 80°C 32 a 176°F	0,1°C/F	±2°C
Humedad relativa	Comercial	0 a 100%	0,1 %HR	±3% (10 a 90%) de lo contrario ±5%
	Prototipo	0 a 100%	0,1 %HR	±1% e incrementa ±0,5% cada año.

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Validación estadística

Posteriormente se ha realizado una prueba para validar esta propuesta, efectuando mediciones y obteniendo el índice WGBT que se compara con el dispositivo comercial. Las pruebas se desarrollaron el sábado 19 de febrero desde 13:25 hasta las 14:25, un dato por minuto y se disponen en el Anexo 2.

Utilizando el software SPSS en su versión 26 se procede a ejecutar la prueba de normalidad (Tabla 5) de los dos conjuntos de datos para determinar la prueba estadística que se debe elegir para comparar las medias. Dado que se tienen 60 datos se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov donde se obtiene una significancia de 0,200* para el prototipo y 0,190 para el dispositivo comercial. Como regla de decisión se considera que si la sig. > 0,05 se acepta H_0 y por ende se establece que los datos siguen una distribución normal en ambos casos.

Tabla 5. Prueba de normalidad de las mediciones de ambos dispositivos.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Comercial	,195	60	,190
Prototipo	,141	60	,200*

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Luego se obtienen las estadísticas de cada uno de los grupos de datos, como se expone en la Tabla 6. La media de los datos que se obtuvieron de las mediciones del dispositivo comercial es de 18,32 y del prototipo es de 18,86. Son valores similares, sin embargo, se debe aplicar un estadístico para corroborar si las medias de estos datos tienen o no una diferencia significativa.

Tabla 6. Estadísticas de las mediciones de cada dispositivo.

Estadísticas de grupo					
	Dispositivo	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Índice WBGT	Comercial	60	18,32	1,86	,240
	Prototipo	60	18,86	1,73	,223

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Dado que se cumplió el supuesto de normalidad se procede a emplear la prueba t de muestras independientes. En la Tabla 7 se analiza si existe diferencia en las varianzas mediante la prueba de Levene y con una significancia de $0,445 > 0,05$ se establece que las varianzas son iguales. Con ello se analiza el valor de la significancia bilateral de la prueba t es de 0,102. La regla de decisión definida es:

H_0 = No hay diferencia significativa en las mediciones del dispositivo comercial y el prototipo.

H_1 = Si hay diferencia significativa en las mediciones del dispositivo comercial y el prototipo.

Dado que $0,102 > 0,05$ se acepta la hipótesis nula (H_0) y se establece que no existe diferencia entre las medias. Esto comprueba que desde el punto de vista estadístico las mediciones que ambos dispositivos no poseen una diferencia significativa, validando el uso de esta propuesta. Así también se puede apreciar en el Anexo 2

Tabla 7. Resultados de la prueba t para muestras independientes.

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bil)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
VI	,586	,445	-1,65	118	,102	-,53983	,32792
VN			-1,65	117,32	,102	-,53983	,32792

VI = Se asumen varianzas iguales, VN = No se asumen varianzas iguales

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Metodología para la medición

3.4.1. Presentación de la propuesta

Para dar cumplimiento a lo establecido en la legislación nacional e internacional, así como los lineamientos del Ministerio de Trabajo, se debe asegurar que las condiciones del lugar de trabajo presten las garantías y comodidad para los empleados. Esto incluye aspectos como infraestructura, iluminación y en este caso la carga calórica del ambiente que se produce por la temperatura, humedad, ventilación y radiación.

La exposición prolongada a altos niveles de radiación y de temperaturas puede producir una sobrecarga térmica en el personal. Esto como resultado de la transferencia de calor por contacto o puede ser propio de la radiación. A esto se le agrega que el ser humano genera calor metabólico basal que puede verse agravado o atenuado según las tareas físicas que ejecute. Es por ello, que estos niveles deben ser medidos y en la medida mitigados o controlados.

3.4.2. Objetivo

Definir una metodología generalizada que indique el uso del equipo de medición de estrés térmico para determinar si las condiciones laborales son favorables o requieren cambios.

3.4.3. Alcance

Este documento alcanza el procedimiento de uso del equipo de medición de estrés térmico, durante el desarrollo de las actividades laborales en situaciones térmicas eminentes.

3.4.4. Población

3.4.4.1. Objetivo

Empleados con una exposición prolongada a altos niveles de radiación y de temperaturas en su ambiente laboral.

3.4.4.2. Usuaría

Personal encargado de realizar las actividades de control de seguridad y salud ocupacional.

3.4.5. Normativa

Decreto ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo:

- Art. 53. Condiciones generales ambientales: ventilación, temperatura y humedad altos niveles de radiación y de temperaturas.
- Art. 54. Calor.

ISO 7243: Hot environments. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index (Wet bulb globe temperatures)

3.4.6. Terminología

Confort térmico: Estado en el que el trabajador se encuentra satisfecho con las condiciones térmicas del lugar de trabajo.

Estrés térmico: Sensación de molestia que experimenta el trabajador al estar expuesto a condiciones de temperatura y humedad relativa desfavorables.

Humedad relativa: Valor porcentual que relaciona la cantidad de humedad atmosférica y la cantidad que existiría si el aire estuviera saturado.

Temperatura de bulbo húmedo (TBH): Corresponde a la temperatura que se puede examinar mediante un termómetro cubierto con un paño empapado de agua sobre el cual circula aire.

Temperatura de bulbo seco (T): Temperatura del aire que marca un termómetro común.

Temperatura de globo (TG): Medición de un termómetro que está introducido en una esfera de color negro, en su parte externa.

Verificación: Proceso que identifica si se está cumpliendo con los requerimientos o normas establecidos.

3.4.7. Equipos y materiales

- Dispositivo medidor de estrés térmico.
- Tarjeta Micro SD.
- Formato para el análisis de exposición térmica.

3.4.8. Procedimiento

Todas las actividades que se van a desarrollar a continuación deben ser registradas en el formato respectivo.

3.4.8.1. Preparación del equipo

Encender el dispositivo para realizar su preparación previa a la medición. Ésta consiste en:

- a) Evaluar si las condiciones ambientales y climatológicas podrían representar un peligro para el dispositivo y en el caso de ser así, tomar los correctivos necesarios o detener el procedimiento. En el caso de no ser posible, se debe ubicar en un lugar que contenga condiciones lo más semejantes a las que está expuesto el trabajador que será evaluado.
- b) Revisar el nivel de batería y de ser necesario conectar el cable de alimentación.
- c) Esperar un periodo de 5 minutos para que los sensores se inicialicen y el equipo se estabilice a las condiciones actuales.

- d) Revisar las mediciones del sensor que indican la temperatura de bulbo seco (T) y la temperatura de globo (TG), así como el cálculo de temperatura de bulbo húmedo (TBH). Analizar si las mismas están dentro de los parámetros convencionales del dispositivo.
- e) Comprobar si las mediciones varían proporcionalmente a las condiciones ambientales y si lo hacen con una precisión menor a 3 °C.
- f) En el caso de no aprobarse la verificación de inicio se deberá detener el procedimiento y enviar el equipo para que reciba el mantenimiento correctivo respectivo.

Nota: Esta verificación de inicio solo la puede realizar personal que haya sido calificado.

3.4.8.2.Cálculo del WBGT

Las mediciones se deben efectuar en las distintas áreas de trabajo, oficinas y zonas de descanso, en las que haya condiciones térmicas no favorables. Se debe evaluar todo lugar donde el personal esté por lo menos una hora o más. También hay que considerar si el procedimiento se realiza en interiores o exteriores, pues el cálculo se realiza de forma distinta, según sea el caso:

- a) Cuando se realiza al aire libre se utiliza la siguiente fórmula:

$$TGBH = 0,7*TBH + 0,2*TG + 0,1*T$$

- b) Cuando se realiza en un entorno interior se utiliza la siguiente fórmula:

$$TGBH = 0,7*TBH + 0,3*TG$$

Donde,

WBGT: Índice de temperatura de globo y bulbo húmedo.

TBH: Temperatura de bulbo húmedo en °C.

TG: Temperatura de globo en °C.

T: Temperatura de bulbo seco.

3.4.8.3.Ubicación del equipo

Las mediciones deberán realizarse considerarse las condiciones ambientales, es decir seleccionar en el dispositivo si se trata de interiores o exteriores. Así también en lugares que aseguren que se mantendrá su integridad en base a lo descrito en 8.1.a).

Se establecen tres alturas a las que el equipo debe colocarse para obtener las mediciones. Serán medidas desde el suelo y tomando como referencia la estatura de la persona de menor tamaño. Éstas deben realizarse con el menor intervalo de tiempo posible (simultaneidad) entre ellas y son:

Empleado en pie

- a) Medición 1: Tobillos (10 centímetros).
- b) Medición 2: Abdomen (100 centímetros).
- c) Medición 3: Cabeza (155 centímetros).

Empleado sentado:

- d) Medición 1: Tobillos (10 centímetros).
- e) Medición 2: Abdomen (50 centímetros).
- f) Medición 3: Cabeza (100 centímetros).

El cálculo del valor medio del índice se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$TGBH = \frac{TGBH_{TOBILLOS} + 2(TGBH_{ABDOMEN}) + TGBH_{CABEZA}}{4}$$

Si luego de las mediciones existiera una diferencia inferior al 5% entre las tres, se podrá establecer que el medio ambiente es homogéneo y por ende se simplificará el procedimiento. Esto consiste en determinar una sola medición a la altura del abdomen (medición 2), para los trabajadores que laboren de pie será de 100 cm. y sentado de 50 cm. Si existieran inconsistencias en las mediciones, se deberá realizar el procedimiento de tres lecturas.

Nota: Se ha tomado como referencia una altura de 155 cm, pero esto debe adaptarse a las medidas antropométricas de cada empleado.

Nota: La mejor ubicación del dispositivo se elegirá en base al criterio de quien evalúa.

3.4.8.4. Verificación final

Luego de terminar las mediciones se deberá:

- a) Evaluar si todas las mediciones del dispositivo están dentro de los rangos técnicos normales definidos.
- b) Verificar que los valores cumplan con la precisión de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ en interiores y $\pm 2^{\circ}\text{C}$ en exteriores.
- c) Si estas validaciones son aprobadas se podrá finalizar el procedimiento.
- d) En el caso de tener inconsistencias se repetirá el proceso de medición, considerando si el problema se debió a un fallo del evaluador, del equipo, de su ubicación u otro.
- e) Si luego de repetir tres veces el procedimiento los valores se mantienen fuera de lo normal, se determinará que el inconveniente es generado por el dispositivo y será enviado a revisión.

3.4.9. Carga de trabajo

La carga de trabajo promedio se calcula definiendo el gasto calórico (C) que genera cada actividad que la persona realiza y el tiempo de ejecución (t) en horas y se describe en la ecuación (6).

$$C_{\text{PROMEDIO}} = \frac{C_1 t_1 + C_2 t_2 + \dots + C_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (6)$$

3.4.10. Límites definidos

Como lo indica el decreto ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo, en su artículo. 54, literal e): Se regularán los periodos de trabajo en base al WBGT y la carga de trabajo en base al siguiente cuadro:

TIPO DE TRABAJO	CARGA DE TRABAJO		
	LIVIANA	MODERADA	PESADA
	Inferior a 200 Kcal/hora	De 200 a 350 Kcal/hora	Igual o mayor a 350 Kcal/hora
Trabajo continuo	WBGT=30.0	WBGT =26.7	WBGT =25.0
75% trabajo, 25% descanso cada hora	WBGT =30.6	WBGT =28.8	WBGT =25.9
¿50% trabajo, 50% descanso cada hora	WBGT =31.4	WBGT =29.4	WBGT =27.9
25% trabajo, 75% descanso cada hora	WBGT =32.2	WBGT =31.1	WBGT =30.0

Fuente: (IESS, 2011).

Con base a lo obtenido en el cálculo del índice WBGT y la carga de trabajo del trabajador se podrá establecer el tipo de trabajo que le corresponde y el porcentaje de descanso pertinente.

De igual manera es un deber de la institución el proponer identificar si existen problemas térmicos en las instalaciones. En el caso de ser así, brindar soluciones de mejora colectivas que busquen mejorar las condiciones de trabajo del personal.

Evaluación del riesgo térmico

Se ha considerado una muestra de 4 trabajadores, que laboran dentro del invernadero, en una jornada de 8 horas. Utilizando un dispositivo inteligente se ha calculado la cantidad de calorías consumidas durante el desarrollo de las actividades que ejecutan en su puesto de trabajo en un periodo de tiempo y se describen en la Tabla 8. Los valores de gasto

calórico se definen utilizando una calculadora en línea que analiza la edad, peso y sexo de la persona (YAZIO, 2022).

Tabla 8. Características de las actividades realizadas en el invernadero.

Actividad	Descripción	Calorías quemadas por actividad [Kcal/h]	Duración [h]
1	Preparación del suelo con ayuda de un Motocultor	229	1 hora
2	Levantamientos de camas	193	1 hora
3	Siembre de plantas en las camas	183	2 horas
4	Colocación de cinta de goteo en camas	160	0,5 hora
5	Fertilización en plantas	172	1 hora
6	Deshierbe de camas	251	1 hora
7	Control de fitosanitario en las plantas	202	1 hora
8	Cosecha de plantas	318	0,5 hora

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Utilizando la ecuación (6) se obtiene la carga de trabajo promedio para los cuatro trabajadores. Dado que las mediciones del índice WBGT son variables, se van a considerar los momentos más críticos de exposición como una referencia. El valor más alto (máximo estrés térmico posible) obtenido en las pruebas experimentales y el valor más bajo (mínimo estrés térmico posible). Con esta información, en base a la Tabla 3 se definirá la carga de trabajo de cada persona.

Índice WBGT más alto: 30,9

Índice WBGT más bajo: 16,15

Trabajador 1:

Sexo: masculino; edad: 33 años; peso: 75 Kg.

$$C_1 = \frac{(276)(1) + (232)(1) + (220)(2) + (193)(0,5) + (207)(1) + (302)(1) + (243)(1) + (383)(0,5)}{1+1+2+0,5+1+1+1+0,5}$$

$$C_1 = 248,50$$

- Índice más alto: 50% trabajo y 50% descanso cada hora.
- Índice más bajo: trabajo continuo.

Trabajador 2:

Sexo: femenino; edad: 38 años; peso: 63 Kg.

$$C_2 = \frac{(228)(1) + (198)(1) + (182)(2) + (159)(0,5) + (171)(1) + (250)(1) + (201)(1) + (316)(0,5)}{1+1+2+0,5+1+1+1+0,5}$$

$$C_2 = 205,30$$

- Índice más alto: 50% trabajo y 50% descanso cada hora.
- Índice más bajo: trabajo continuo.

Trabajador 3:

Sexo: masculino; edad: 35 años; peso: 77 Kg.

$$C_3 = \frac{(277)(1) + (233)(1) + (221)(2) + (193)(0,5) + (208)(1) + (304)(1) + (244)(1) + (385)(0,5)}{1+1+2+0,5+1+1+1+0,5}$$

$$C_3 = 249,72$$

- Índice más alto: 50% trabajo y 50% descanso cada hora.
- Índice más bajo: trabajo continuo.

Trabajador 4:

Sexo: masculino; edad: 28 años; peso: 68 Kg.

$$C_4 = \frac{(268)(1) + (226)(1) + (214)(2) + (187)(0,5) + (201)(1) + (293)(1) + (236)(1) + (372)(0,5)}{1+1+2+0,5+1+1+1+0,5}$$

$$C_4 = 241,32$$

- Índice más alto: 50% trabajo y 50% descanso cada hora.
- Índice más bajo: trabajo continuo.

Propuesta de mejora

El proceso que mayor incidencia térmica se desarrolla en el invernadero. Al ser un lugar cerrado destinado a la conservación de las flores. Su función es la de proteger el producto del frío exterior en ciertas estaciones del año y en condiciones climáticas extremas. La cubierta es traslúcida para permitir el paso de la luz solar, lo cual genera un incremento térmico. Esto afecta tanto a las flores como al personal que se encuentra laborando ahí. Por ello, se poseen cortinas que son movidas durante ciertas horas del día para permitir el paso de aire fresco, con una malla por debajo, que sirve de protección.

El análisis realizado permite evidenciar que en este lugar existen condiciones de estrés térmico elevadas. Según la normativa vigente se establece que se debe realizar el trabajo con porcentajes altos de pausas, en la práctica es de difícil cumplimiento ya que la producción tiene una alta demanda. Por esto se han evaluado opciones para que la ventilación mejore en el lugar de trabajo. Se le propondrá a la empresa la instalación de un sistema de ventilación en las cubiertas laterales. Éstos permiten que el aire recircule por las instalaciones, pues generan aire frío y expulsan el aire caliente al exterior. Así se tendrá una incidencia positiva en la humedad, temperatura, oxígeno y nivel de CO₂ y otros gases en el aire.

Para la adquisición de estos equipos se debe considerar:

- a) El tipo de ventilador se recomienda sea helicoidal axial con hélice y se debe colocar en las cubiertas laterales.
- b) En base al dimensionamiento total del área, permite definir la capacidad calorífica que deberán solventar que es de 90000 BTU/h.

- c) Que cumplan con normativa IP68 con resistencia al polvo y al agua, así también a la humedad, lo cual evita que se desarrolle corrosión en sus componentes internos.
- d) Se recomienda que sean de un material plástico, sintético, aluminio o de preferencia de acero inoxidable. El tipo de ventilador se recomienda sea helicoidal axial con hélice.
- e) El número de equipos será determinado por el personal que genera la propuesta técnica, en base a la capacidad calorífica establecida.

Resultados esperados

Con la implementación de esta propuesta se pretende que la institución que lo recibe tenga otra herramienta importante para el análisis de las condiciones laborales que les ofrece a sus trabajadores y a los productos que se cultivan. Desde el punto de vista económico se establece que se generará un ahorro por el uso de un dispositivo prototipo que cuyo costo de implementación representa solo una fracción de uno comercial de fabricación extranjera.

Se presenta una herramienta de fácil uso, amigable con el usuario, que en conjunto con la capacitación impartida a la persona que la empresa designe para hacer las mediciones y análisis de resultados será de gran provecho. Al inicio el empleador desconocía de los deberes que tiene para con sus empleados y que ahora ha identificado y se espera empiece a realizar de forma paulatina. También será el inicio para que se realicen programas de capacitación que incluyan temas de seguridad e higiene laboral, que son derechos que el trabajador posee, pero desconoce.

Se ha dispuesto una propuesta de mejora tentativa que deberá ser analizada por la dirección de la institución. Tomando en cuenta que si se desarrolla se estarían mejorando las condiciones en las que las plantas se desarrollan y esto podría generar beneficios en cuanto a exportaciones, sin embargo, esto aún debe ser evaluado. Así también esta mejora le permite a la institución cumplir con los requerimientos que ciertas normas establecen

como la ISO 9001:2015 que establece otorgarle al trabajador condiciones apropiadas de trabajo y se podría buscar en el futuro realizar su certificación.

Cronograma de aplicación del instrumento

El cronograma que se describe a continuación incluye las actividades que se deberán ejecutar para dar cumplimiento tanto a la metodología de medición propuesta como al proceso de mejora continua que la institución está iniciando. Este cronograma tiene una duración de 10 meses, desde que se valida el equipo, se realizan las mediciones iniciales y luego se proponen mejoras. Posterior a la implantación de estas mejoras se deberá realizar nuevamente una medición y así mismo buscar mejoras en las actividades que forman parte de este proceso. Recordando que el costo energético depende del ejercicio físico que la persona realiza durante la ejecución de sus actividades. Esto se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	MES									
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
Validación del prototipo	■									
Entrega del equipo a la empresa	■									
Capacitación al evaluador	■									
Socialización con todo el personal	■									
Elaboración de un formato para las mediciones		■								
Evaluación de las condiciones del área de trabajo		■								
Análisis de la ubicación del equipo (alturas)		■								
Medición del índice WBGT		■								
Verificación de los valores obtenidos		■								
Cálculo del costo energético por actividad			■							
Cálculos de la carga de trabajo del personal			■							
Análisis de resultados			■							
Definición del tipo de trabajo en base a la normativa			■							
Presentación de informes				■						
Planeación de una propuesta de mejora en la infraestructura y en las actividades desarrolladas por el personal.				■						
Diseño de la propuesta de mejora					■					
Implementación de esta propuesta					■	■	■			
Validación de la propuesta							■			
Medición semestral del índice WBGT con las condiciones modificadas								■		
Análisis de los nuevos resultados									■	
Presentación de nuevos informes										■

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

Análisis de costos

En base a lo establecido en la Tabla 10 se puede apreciar que el elemento de mayor costo es el módulo M5Stack Core2, luego de ello el sensor DHT22 y la impresión 3D de la cubierta. Los elementos restantes tienen valores muy reducidos y con esto se puede obtener el valor total que representa su fabricación. Esto permite considerar su distribución comercial a un valor superior, obteniendo un margen de ganancia, manteniéndose en un valor inferior a la competencia. Como se presentó previamente los dispositivos comerciales que identifican el valor del índice WBGT oscilan en valores de los \$500 a los \$2000. La inversión realizada representa un ahorro para la empresa en el futuro, pues se podrá evaluar la presencia de riesgos térmicos de forma periódica.

Tabla 10. Presupuesto de construcción de medidor de estrés

Material	Cantidad	Valor
Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	2	\$ 14.49
M5Stack Core2	1	\$ 63,99
Esfera de globo	1	\$ 0.50
Tornillos 3M x 2cm	8	\$ 0.40
Cables macho - hembra	9	\$ 1.35
Cable macho - macho	2	\$ 0.20
Bornera 2 pin	1	\$ 0.25
Bornera 3 pin	2	\$ 0.60
Baquelita 10x10	1	\$ 0.80
Caja impresa 3D	1	\$ 12.30
Total		\$ 94.88

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

De igual manera se deben considerar costos adicionales que influyen en la presentación de esta propuesta y se describen en la Tabla 11. Estos valores también deben ser tomados en cuenta como costos de la propuesta.

Tabla 11. Costos adicionales de la propuesta.

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Capacitaciones	1	\$280	\$280
Material de capacitaciones	2	\$300	\$600
Movilizaciones	20	\$20	\$400
Formato para hojas de control (imprensa)	30	\$5	\$150
Metodología de medición (imprensa)	3	\$2	\$6
TOTAL			1436,00

Elaborado por: Hairo Mosquera (2022)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La revisión bibliográfica realizada permitió establecer los antecedentes, funcionamiento y características técnicas de los dispositivos que miden el nivel de estrés térmico existentes en el mercado nacional e internacional. En base a ello, se pudo determinar el modelo más adecuado en función a los requerimientos específicos de esta investigación.
- En base a lo definido previamente se realizó el diseño del prototipo, para lo cual se definieron las fórmulas para el cálculo del índice WBGT, así como los diseños electrónico y estructural respectivamente.
- La construcción del dispositivo inició con la selección de los materiales que cumplieran con los requerimientos técnicos establecidos y su interconexión. La programación se desarrolló en un software libre con código abierto y considerando las fórmulas antes definidas. Mediante impresión 3D se construye la estructura externa donde se alojan los elementos del circuito electrónico impreso.
- Las pruebas experimentales y el análisis estadístico ejecutado validan este prototipo de bajo costo, cuyo funcionamiento se asemeja al de un dispositivo comercial. Además se establece la metodología que deberá emplearse para efectuar las mediciones, lo cual servirá de base para futuras investigaciones. Finalmente se propone a la empresa una propuesta de mejora de las condiciones térmicas del área de trabajo, dado que se han identificado elevado estrés térmico.

Recomendaciones

- La revisión bibliográfica debe realizarse en idioma español e inglés, para ampliar la información obtenida. También es importante hacer énfasis en identificar la normativa local e internacional vigente, para seguir con los lineamientos establecidos por instituciones especializadas.
- Durante el diseño es importante considerar los requerimientos técnicos del equipo que se vaya a construir, ya que de esto depende que su funcionamiento sea correcto.
- La elección de los materiales se debe realizar con sumo cuidado, para tener mayor semejanza al dispositivo comercial.
- Dado el problema identificado, se puede crear un cronograma de aclimatación, con rotación de personal en diversas áreas. Implementar pausas activas que motiven a un mayor movimiento y así lograr la disminución de fatiga muscular y psicológica.

BIBLIOGRAFÍA

Aosong Electronics Co.,Ltd. 2005. *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22.* 2005.

ARDUINO. 2022. Arduino IDE. [Online] 2022. [Cited: 02 16, 2022.] <https://www.arduino.cc/en/software/>.

ASHRAE F6 Fundamentals. 2001. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. [book auth.] ASHRAE F6 Fundamentals. *Psychometrics* . 2001, Capítulo 6.

ASHRAE F8. Fundamentals. 2001. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. [book auth.] ASHRAE F8. Fundamentals. *Thermal Comfort*. 2001, Capitulo 6.

Efectos del estres termico en trabajadores . Galoc, Caro. 2020. 2020.

Incropera, F. and DeWitt , D. 2006. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer.*, England : Wiley Publisher, 2006. 6th Edition.

INSHT. 1992. *NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.* Madrid : s.n., 1992.

INTECCONINC. 2022. QuesTemp 32/34/36. [Online] 2022. [Cited: 01 27, 2022.] <http://www.inteconinc.com/latam/index.php/productos/monitores-de-estres-termico/236-questemp-32-34-36>.

ISO. 2017. *UNE-EN ISO 7243:2017.* Ginebra : s.n., 2017.

José González, Rosario Pérez. 2020. *Formación y orientación laboral.* España : Paraninfo S.A, 2020.

Lamberts, R. 2002. *Conforto Térmico e Stress Térmico Laboratório de Eficiência Energética emEdificações.* Florianópolis. : Universidade Federal De Santa Catarina,, 2002.

M5STACK. 2022. QUICK & EASY IoT DEVELOPMENT. [Online] 2022. [Cited: 02 12, 2022.] <https://m5stack.com/>.

Mondelo, Pedro R. , et al. 2013 . *Ergonomía 2 Confort y Estrés Térmico* . Barcelona : Edicions UPC , 2013 .

Ordoñez, P. 2016. *Chronic Kidney Disease Epidemic in Central America: Urgent Public Health Action Is Needed amid Causal Uncertainty*. s.l. : América Económica, 2016.

Ordoñez, P. 2015. *Chronic Kidney Disease Epidemic in Central America: Urgent Public Health Action Is Needed amid Causal Uncertainty*. s.l. : América Económica, 2015.

Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. [Online] [Cited: Enero 08, 2022.]

Salinas, Pablo Andrés Zamora. 2015. Estudiode métodos, tiempos, movimientos y cálculo de la capacidad de producción en el área de bobinado de la empresa ECUATRAN S.A. [Online] 10 21, 2015. [Cited: 06 12, 2019.] http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8107/1/Tesis_t925id.pdf.

Simões , Pires J. R. 1999. *Fundamentos e Aplicações da Psicometria*. São Paulo. : s.n., 1999.

Soto, N.F. Chaves Barrantes and M.V. Gutiérrez. 2016. *Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II Tolerancia y tratamiento agronómico*. s.l. : Agron. Mesoam, 2016. 1.

SPER SCIENTIFIC. 2011. *Manual WBGT Heat Stress Meter*. 2011.

YAZIO. 2022. Calcular calorías quemadas. [Online] 2022. [Cited: 02 22, 2022.] <https://www.yazio.com/es/calculadora-calorias-quemadas>.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta inicial realizada al personal de la empresa.

	Anexo		Código: F-01				
	Encuesta		Versión: 1				
			Fecha: 10/10/2021				
			Página: 1 de 1				
Datos informativos	Nombre:		Firma:				
	Fecha:						
	Área:						
	Cargo:						
Instrucciones: Estimado trabajador por favor marque con una X en el casillero que usted considere adecuado. Considerando que: 1 = muy desacuerdo, 2 = desacuerdo, 3 = ni acuerdo ni en desacuerdo, 4 = de acuerdo, 5 = muy de acuerdo.							
Encuesta							
N°	Pregunta	Valoración					
		1	2	3	4	5	
1	¿Siente que la temperatura en su área de trabajo es adecuada?						
2	¿Siente que la ventilación en su área de trabajo es adecuada?						
3	¿Siente que el porcentaje de humedad en su área de trabajo es adecuado?						
4	¿Siente que la radiación es fuerte en su lugar de trabajo en los días soleados?						
5	¿Siente la presencia de sudor durante la ejecución de sus actividades?						
6	¿Las actividades que realiza le generan calor o una sensación incómoda?						
7	¿Considera que realiza una adecuada ingesta de agua en el día?						
8	¿Ha recibido capacitaciones en materia de seguridad y salud laboral?						
9	¿Conoce qué es el índice de estrés térmico?						
10	¿Siente que su vestimenta le genera calor o incomodidad en el desarrollo de sus actividades?						
11	¿Considera importante la medición constante de los índices de estrés térmico en su lugar de trabajo?						
12	¿Considera que es necesario realizar cambios en las instalaciones para su bienestar?						
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:			
Nombre:		Nombre:		Nombre:			
Cargo:		Cargo:		Cargo:			

Anexo 2. Mediciones con el dispositivo comercial y el prototipo con su error de aproximación

Medición	Índice WBGT - Dispositivo comercial [°C]	Índice WBGT - Prototipo [°C]	Error de aproximación [%]
1	17,2	17,88	3,94
2	17,2	17,83	3,65
3	17,4	18,06	3,78
4	17,6	18,24	3,63
5	17,3	17,97	3,86
6	17,3	17,92	3,57
7	17,2	17,88	3,94
8	17,4	18,06	3,78
9	16,8	17,51	4,25
10	16,8	17,47	4,02
11	16,7	17,42	4,34
12	16,9	17,61	4,17
13	17,3	17,97	3,86
14	17,8	18,42	3,49
15	17,9	18,51	3,42
16	18,5	19,06	3,00
17	19	19,51	2,67
18	19,4	19,87	2,42
19	19,7	20,14	2,24
20	19,9	20,32	2,13
21	20,3	20,69	1,90
22	21,1	21,41	1,47
23	21,2	21,50	1,42
24	21,5	21,77	1,27
25	21,4	21,68	1,32
26	21,3	21,59	1,37
27	21,2	21,50	1,42
28	21,2	21,43	1,09
29	21,1	21,41	1,47
30	21,1	21,35	1,19
31	21,4	21,68	1,32
32	21,1	21,41	1,47
33	20,5	20,87	1,79
34	20	20,41	2,07
35	19,3	19,78	2,49
36	19,2	19,69	2,55

37	19,2	19,70	2,60
38	19,2	19,66	2,39
39	18,8	19,33	2,80
40	18,9	19,42	2,74
41	19,1	19,60	2,61
42	18,3	18,87	3,14
43	18,4	18,96	3,07
44	17,8	18,42	3,49
45	17,7	18,33	3,56
46	17,1	17,69	3,43
47	17	17,60	3,51
48	16,9	17,51	3,58
49	16,6	17,23	3,82
50	16,4	17,05	3,98
51	16,5	17,14	3,90
52	16,3	16,91	3,75
53	16,2	16,82	3,83
54	16	16,64	4,00
55	15,7	16,37	4,26
56	15,6	16,28	4,34
57	16,1	16,73	3,92
58	15,9	16,55	4,08
59	15,6	16,28	4,34
60	15,5	16,19	4,43

Anexo 3. Área de semillero



Anexo 4. Área de cultivos (invernaderos)



Anexo 5. Invernaderos y trabajadores



Anexo 6. Pruebas experimentales in situ





Anexo 7. Toma de mediciones





Anexo 8. Comparación de las mediciones de los dos dispositivos





Anexo 9. Código de programación en c++ (Arduino IDE)

```
#include <DHT.h>
#include <M5Core2.h>
#include "FS.h"
#include "SD.h"
#include "SPI.h"
#include <math.h>
const char* path = "/Datos.txt";
DHT dht1(19, DHT22);
DHT dht2(27, DHT22); // de globo

double hr, th1, th2, th3, th4, th, tr, ts, wbgt, bat;
int estado=0;
void setup() {
  M5.begin();
  M5.Lcd.clear();
  SD.begin();
  delay(2000);
  M5.Lcd.clear();
  M5.Lcd.fillScreen(WHITE);
  M5.Lcd.setTextColor(BLUE);
  M5.Lcd.setTextSize(4);
  M5.Lcd.setCursor(25,10);
  M5.Lcd.println("UNIVERSIDAD");
  M5.Lcd.setTextColor(RED);
  M5.Lcd.setCursor(25,50);
  M5.Lcd.println("INDOAMERICA");
  M5.Lcd.setTextSize(5);
  M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
  M5.Lcd.setCursor(10,110);
  M5.Lcd.println(" MEDIDOR ");
  M5.Lcd.setCursor(10,160);
  M5.Lcd.println(" WBGT ");

  M5.Lcd.setTextSize(2);
  M5.Lcd.setTextColor(RED);
  M5.Lcd.setCursor(0,220);
  M5.Lcd.println(" EXTERIOR INTERIOR BATERIA");
```



```

dht1.begin();
dht2.begin();

M5.Axp.EnableCoulombcounter();//para la bateria
Serial.begin(9600);
}

void loop() {

M5.update();
  if (M5.BtnA.wasPressed())
  {
    estado = 1;
    //M5.Lcd.clear();
  }

  if (M5.BtnB.wasPressed())
  {
    estado = 2;
    //M5.Lcd.clear();
  }

  if (M5.BtnC.wasPressed())
  {
    estado = 3;
    //M5.Lcd.clear();
  }
  if(estado == 0){

M5.Lcd.fillScreen(WHITE);
M5.Lcd.setTextColor(BLUE);
M5.Lcd.setTextSize(4);
M5.Lcd.setCursor(25,10);
M5.Lcd.println("UNIVERSIDAD");
M5.Lcd.setTextColor(RED);
M5.Lcd.setCursor(25,50);
M5.Lcd.println("INDOAMERICA");
M5.Lcd.setTextSize(5);
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.setCursor(10,110);

```

```
M5.Lcd.println(" MEDIDOR ");
M5.Lcd.setCursor(10,160);
M5.Lcd.println("  WBGT  ");
```

```
M5.Lcd.setTextSize(2);
M5.Lcd.setTextColor(RED);
M5.Lcd.setCursor(0,220);
M5.Lcd.println(" EXTERIOR INTERIOR BATERIA");
}
```

```
if(estado == 1){
  M5.Lcd.clear();
  M5.Lcd.setTextSize(4);
  M5.Lcd.setTextColor(WHITE);
  M5.Lcd.setCursor(40,10);
  M5.Lcd.println("EXTERIORES");
```

```
  M5.Lcd.setTextSize(3.5);
  M5.Lcd.setCursor(0,60);
  M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
  M5.Lcd.print("Th:");
  M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
  ts=dht1.readTemperature();
  hr=dht1.readHumidity();
  tr=dht2.readTemperature();
```

```
  th1=ts*atan(0.151977*pow((hr+8.313659),0.5));
  th2=atan(ts + hr);
  th3=atan(hr - 1.676331);
  th4=0.00391838*pow(hr,1.5)*atan(0.023101*hr);
  th=th1+th2-th3+th4-4.686035;
  Serial.print(ts);Serial.print("                ");Serial.print(th1);Serial.print("
");Serial.print(th2);Serial.print(" ");
  Serial.print(th3);Serial.print(" ");Serial.print(th4);Serial.print(" ");Serial.println(th);
```

```
  M5.Lcd.print(hr);M5.Lcd.println("%");
```

```
  M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
  M5.Lcd.print("Tr:");
  M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
```

```

M5.Lcd.print(tr);M5.Lcd.println("oC");

M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("Ts:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.print(ts);M5.Lcd.println("oC");
M5.Lcd.println();

wbgt=0.7*th+0.2*tr+0.1*ts;

M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("WBGT:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.print(wbgt);M5.Lcd.println("oC");
M5.Lcd.setTextSize(2);
M5.Lcd.setTextColor(RED);
M5.Lcd.setCursor(0,220);
M5.Lcd.println(" EXTERIOR INTERIOR BATERIA");
}
if(estado == 2){
M5.Lcd.clear();
M5.Lcd.setTextSize(4);
M5.Lcd.setTextColor(WHITE);
M5.Lcd.setCursor(40,10);
M5.Lcd.println("INTERIORES");
M5.Lcd.setTextSize(3.5);
M5.Lcd.setCursor(0,60);
M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("Th:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
ts=dht1.readTemperature();
hr=dht1.readHumidity();
tr=dht2.readTemperature();

th1=ts*atan(0.151977*pow((hr+8.313659),0.5));
th2=atan(ts + hr);
th3=atan(hr - 1.676331);
th4=0.00391838*pow(hr,1.5)*atan(0.023101*hr);
th=th1+th2-th3+th4-4.686035;

```

```

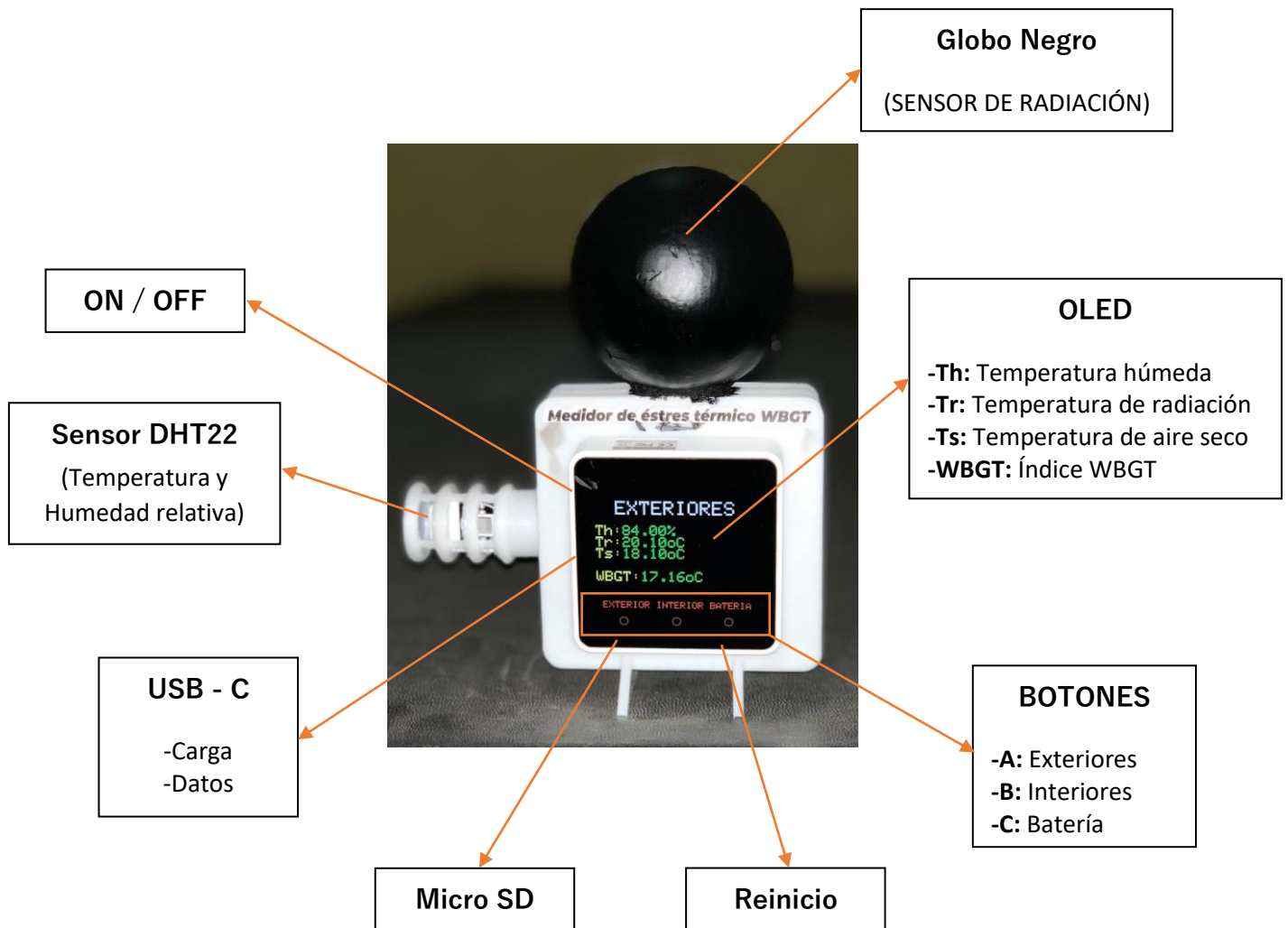
Serial.print(ts);Serial.print("
");Serial.print(th1);Serial.print("
");Serial.print(th2);Serial.print(" ");
Serial.print(th3);Serial.print(" ");Serial.print(th4);Serial.print(" ");Serial.println(th);
M5.Lcd.print(hr);M5.Lcd.println("%");
M5.Lcd.println("");
M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("Tr:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);

M5.Lcd.print(tr);M5.Lcd.println("oC");
/*M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("Ts:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.print(ts);M5.Lcd.println("oC");*/
M5.Lcd.println();
wbgt=0.7*th+0.3*tr;
M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.print("WBGT:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.print(wbgt);M5.Lcd.println("oC");
M5.Lcd.setTextSize(2);
M5.Lcd.setTextColor(RED);
M5.Lcd.setCursor(0,220);
M5.Lcd.println(" EXTERIOR INTERIOR BATERIA");
}
if(estado == 3){
bat = ( M5.Axp.GetBatVoltage() < 3.2 ) ? 0 : (M5.Axp.GetBatVoltage() - 3.2 ) * 100;
M5.Lcd.clear();
M5.Lcd.setTextSize(4);
M5.Lcd.setTextColor(WHITE);
M5.Lcd.setCursor(70,10);
M5.Lcd.print ("BATERIA");
M5.Lcd.setTextSize(3.5);
M5.Lcd.setTextColor(YELLOW);
M5.Lcd.setCursor(10,90);
M5.Lcd.print("Nivel:");
M5.Lcd.setTextColor(GREEN);
M5.Lcd.print(bat);M5.Lcd.println("%");
M5.Lcd.setTextSize(2);
M5.Lcd.setTextColor(RED);

```

```
    M5.Lcd.setCursor(0,220);
    M5.Lcd.println(" EXTERIOR INTERIOR BATERIA");
}
File file = SD.open(path, FILE_APPEND);
file.print(String(th)+" ");
file.print(String(tr)+" ");
file.print(String(ts)+" ");
file.print(String(wbgt)+"\n");
file.close();
if (estado>1)
    delay(10000);    //100
else
    delay(1000);
}
```

Anexo 10. Manual del dispositivo para la medición del índice WBGT



Anexo 11. Carta de conformidad de la empresa SAMERH FLOWERS



Latacunga, 14 de marzo del 2022

Ing.

María Belén Rúales.

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

Presente

De mis consideraciones,

Yo, ACUÑA JÁCOME SEGUNDO ANDERSON portador de la cedula de ciudadanía N.º 1710429232, en mi calidad de Gerente General de la empresa SAMERH FLOWERS, de la Provincia de COTOPAXI, Cantón Latacunga, DECLARO que la empresa se encuentra CONFORME con el trabajo de investigación realizado por parte del Sr. MOSQUERA REINOSO HAIRO FABIÁN, portador de la cedula de ciudadanía N.º 0550145322, en calidad de estudiante de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA, con el tema: AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO WBGT PARA LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE FLORES DE VERANO ALELÍ SAMERH FLOWERS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Particular que comunico para fines pertinentes.

Atentamente,



SEGUNDO ANDERSON ACUÑA JÁCOME
CI: 1710429232
GERENTE GENERAL