



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
NACIONAL**  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE  
INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO  
INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales  
(Ingeniería)

**ESTUDIO TÉRMICO DE UN MATERIAL ORGÁNICO DE  
CAMBIO DE FASE, PROBADO EN UNA VESTIMENTA DE  
SEGURIDAD PARA ALTAS TEMPERATURAS**

Tesis que para obtener el grado de:  
Maestra en Ciencias (en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales)

Presenta:

Itzel García Gómez

Directores de Tesis:

Dr. Magdaleno Caballero Caballero

Dr. Rafael Alavéz Ramírez

Diciembre, 2020



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-13  
REP 2017

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS  
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a  de  del

El Colegio de Profesores de Posgrado de  en su Sesión  
(Unidad Académica)

No.  celebrada el día  del mes  de  conoció la  
solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	GARCÍA	Apellido Materno:	GÓMEZ	Nombre (s):	ITZEL
-------------------	--------	-------------------	-------	-------------	-------

Número de registro:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

del Programa Académico de Posgrado

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

**Estudio térmico de un material orgánico de cambio de fase, probado en una vestimenta de seguridad para altas temperaturas**

Objetivo general del trabajo de tesis:

**Reducir el estrés térmico de personas que trabajan en un ambiente térmicamente agresivo mediante el desarrollo de un chaleco de trabajo que integra un material de cambio de fase orgánico.**

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores

Director:  2° Director:   
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

**Los laboratorios del CIIDIR IPN UNIDAD OAXACA y el trabajo de pruebas de campo, se llevarán a cabo en panaderías de comunidades cercanas a este Centro de investigación**

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis  
  
Dr. Magdaleno Caballero Caballero

2° Director de Tesis (en su caso)  
  
Dr. Rafael Alavez Ramirez

Aspirante  
  
Itzel Garcia Gomez

Presidente del Colegio  
  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jimenez



**CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.**



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de  siendo las  horas del día  mes de  del  se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de:  para examinar la tesis titulada:

"Estudio térmico de un material orgánico de cambio de fase, probado en una vestimenta de seguridad para altas temperaturas"

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	GARCÍA	Apellido Materno:	GÓMEZ	Nombre (s):	ITZEL
-------------------	--------	-------------------	-------	-------------	-------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 13 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

Al revisar se observó que en la metodología, desarrollo experimental, resultados y discusión, y conclusiones; la similitud que se marca está en algunas palabras y frases que son autoría de la tesista y que necesariamente tiene que repetir en la redacción. Por otra parte, el 13% de similitud se distribuye principalmente en el capítulo de contextualización y marco teórico, señalando nombres, términos y expresiones técnicas, aun cuando en la mayoría de los casos se cita debidamente la fuente original.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

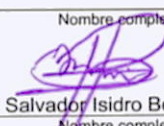
Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

Se evidencia que la metodología, desarrollo experimental, resultados y discusión, y conclusiones; son autoría de la tesista, por lo que el 13% de similitud presentado en los capítulos señalados no representa un riesgo de plagio.

#### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dr. Magdaleno Caballero Caballero  
\_\_\_\_\_  
Director de Tesis  
Nombre completo y firma

Dr. Fernando Chiñas Castillo  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo y firma

Dr. Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo y firma  
  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

Dr. Rafael Alavez Ramírez  
\_\_\_\_\_  
2° Director de Tesis (en su caso)  
Nombre completo y firma

Dra. Luicita Lagunez Rivera  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo y firma





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESION DE DERECHOS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 16 del mes diciembre del año 2020, la que suscribe GARCÍA GÓMEZ ITZEL alumna del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES con número de registro B180019, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Magdaleno Caballero Caballero y del Dr. Rafael Alavéz Ramírez y cede los derechos del trabajo intitulado **“Estudio térmico de un material orgánico de cambio de fase, probado en una vestimenta de seguridad para altas temperaturas”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [posgrado\\_oax@ipn.mx](mailto:posgrado_oax@ipn.mx) o [itzelgargom@gmail.com](mailto:itzelgargom@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

GARCÍA GÓMEZ ITZEL

Nombre y firma de la alumna

*A mi familia*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rafael Alavéz Ramírez por su confianza y ayuda, al Dr. Magdaleno Caballero Caballero por su paciencia y guía. Gracias por su tiempo y atenciones.

A los miembros de mi comité tutorial Dr. Fernando Chiñas Castillo, Dr. Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita, Mtro. Frank Manuel León Martínez, por sus enseñanzas, consejos, apoyo y principalmente, por su tiempo, siempre accesibles a resolver mis dudas.

A los profesores, investigadores, técnicos, administrativos y compañeros por la convivencia y enseñanzas compartidas, al maestro José Luis Montes Bernabé, al maestro Margarito Ortiz Guzmán y al Dr. Francisco Castellanos León.

Al C. Jesús Chávez López, C. Víctor García Castillo, C. Dionisia Aldeco, C. José Velasco García, C. Feliciano Mijangos Pérez y los demás miembros de las panaderías que me permitieron observar, aprender y experimentar en sus lugares de trabajo, a la familia Mijangos Pérez por su amabilidad y cooperación.

Al CONACYT y al IPN por los financiamientos económicos otorgados, por las instalaciones prestadas y por las facilidades brindadas durante la maestría.

A mis padres y abuelita por sus ánimos y mimos, a Yatzín y Xanat por alentarme, a Saul y Dalia por la alegría y calidez que son para mi y me motiva a continuar, a Dios. A mis familiares, amigos y a los que ya no están, pero formaron parte.

## RESUMEN

Los materiales de cambio de fase o PCMs (phase change materials), tienen la capacidad de almacenar calor para después liberarlo. Este proyecto propuso la utilización de PCMs naturales en un chaleco de trabajo para exposiciones al calor, debido que el estrés térmico afecta la salud y rendimiento de los trabajadores. Se caracterizaron los PCMs aceites de coco virgen, coco refinado y coco cosmético mediante pruebas de reología y FTIR-ATR y se probó su desempeño térmico con módulos de tubos de polietileno con aceite de coco refinado, monitoreando las temperaturas con termopares tipo T y HOBOWare. Se observó que el aceite de coco es adecuado para trabajos en ambiente cálido y actividad moderada, pero no para una actividad térmicamente agresiva. Por lo que se buscaron otros materiales de cambio de fase: aceite de corozo, manteca de cacao y aceite de coco hidrogenado, siendo la manteca de cacao el material con mayor temperatura de fusión ( $36^{\circ}\text{C}$ ), seguido del aceite de coco hidrogenado ( $30.28^{\circ}\text{C}$ ) y del aceite de corozo ( $29.22^{\circ}\text{C}$ ). Se realizaron pruebas de desempeño térmico en cámaras aisladas; en ellas se analizaron módulos de aceite de coco hidrogenado, manteca de cacao, agua destilada y piezas de poliestireno expandido y tela. Se observó el cambio de fase, por 7 horas la manteca de cacao favorece el amortiguamiento térmico hasta  $4.38^{\circ}\text{C}$  y el aceite de coco hidrogenado hasta  $4.06^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, se monitorearon cuatro panaderías de los Valles Centrales de Oaxaca en un ambiente térmicamente agresivo, y se probó el chaleco con módulos PCM. El diseño de experimento fue de tres niveles de material: chaleco sin PCM, chaleco con aceite de coco hidrogenado y chaleco con aceite de coco virgen, con 3 repeticiones, registrando signos vitales iniciales y finales del empleado y aplicando una encuesta sobre el esfuerzo percibido. Los resultados mostraron que, trabajando 80 minutos con temperaturas entre  $30^{\circ}\text{C}$  a  $37^{\circ}\text{C}$ , el aceite de coco virgen y el aceite de coco hidrogenado consiguen un amortiguamiento de temperaturas de  $3^{\circ}\text{C}$ . Y la percepción térmica de la persona que utilizó los chalecos fue de mayor confort cuando utilizó el chaleco PCM que cuando no lo utilizó.

## ABSTRACT

Phase change materials or PCMs (phase change materials) can store heat and then release it. This project proposed using natural PCMs in a work vest for heat exposures since thermal stress affects workers' health and performance. Virgin coconut oil, refined coconut, and cosmetic coconut oil PCMs were characterized by rheology and FTIR-ATR tests, and their thermal performance was tested with polyethylene tube modules with refined coconut oil, monitoring temperatures with type T, and HOBOWare thermocouples. Coconut oil was suitable for work in a warm environment and moderate activity, but not for thermally aggressive activity. Therefore, other phase change materials were selected: corozo oil, cocoa butter, and hydrogenated coconut oil, with cocoa butter being the material with the highest melting temperature (36°C), followed by hydrogenated coconut oil (30.28°C) and corozo oil (29.22°C). Thermal performance tests were carried out in insulated chambers; In them, modules of hydrogenated coconut oil, cocoa butter, distilled water, and pieces of expanded polystyrene and cloth were analyzed. The phase change was observed for 7 hours. The cocoa butter favors thermal damping up to 4.38°C and the hydrogenated coconut oil up to 4.06°C. Finally, four bakeries in the Central Valleys of Oaxaca were monitored in a thermally aggressive environment, and the vest with PCM modules was tested. The experiment's design consisted of three levels of material: vest without PCM, vest with hydrogenated coconut oil, and vest with virgin coconut oil, with three repetitions, recording initial and final vital signs of the employee and applying a survey on perceived exertion. The results showed that working 80 minutes with temperatures between 30°C to 37°C, virgin coconut oil, and hydrogenated coconut oil achieved thermal reduction of 3°C. Furthermore, the thermal perception of the person who used the vests was more comfortable when they used the PCM vest than when they did not use it.



## ÍNDICE

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABLAS.....	xiii
SIMBOLOGÍA.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
PROBLEMA.....	xvi
JUSTIFICACIÓN.....	xvi
HIPÓTESIS.....	xviii
OBJETIVOS.....	xviii
Objetivo general.....	xviii
Objetivos específicos.....	xviii
CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Introducción.....	2
2.2. Transferencia de calor.....	4
2.2.1. <i>Conducción</i> .....	6
2.2.2. <i>Convección</i> .....	7
2.2.3. <i>Radiación</i> .....	7
2.3. Primera ley de la termodinámica.....	8
2.3.1. <i>Entalpía</i> .....	9
2.3.2. <i>Calor latente</i> .....	10
2.3.3. <i>Calor específico</i> .....	12
2.3.4. <i>Calor sensible</i> .....	12
2.4. Caracterización de materiales.....	13
2.5. Métodos de evaluación de prendas de trabajo o similares.....	14
2.6. Aceites.....	18
2.6.1. <i>Aceites con cambio de fase</i> .....	19
2.6.2. <i>Operaciones de modificación</i> .....	20
2.7. Normativas.....	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	23
3.1 Diagrama.....	23
3.2. Descripción.....	25

CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	25
4.1. Fase I. Caracterización de aceites orgánicos .....	25
4.1.1. Reología .....	26
4.1.2. FTIR-ATR.....	27
4.1.3. Termoanálisis // Rango de fusión .....	28
4.2. Fase II. Elaboración de pipes .....	28
4.3. Fase III. Caracterización de pipes .....	29
4.3.1. Desempeño térmico con pipes al medio ambiente .....	29
4.3.2. Desempeño térmico con pipes en cámaras .....	30
4.4. Fase IV. Propuesta de chaleco .....	33
4.4.1. Elaboración del chaleco .....	33
4.4.2. Mediciones en panadería .....	34
4.5. Fase V. Evaluación .....	37
4.5.1. Diseño de experimento en personas .....	39
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
5.1. Fase I. Caracterización de aceites .....	43
5.1.1. Reología .....	43
5.1.2. FTIR-ATR.....	45
5.1.3. Rango de fusión.....	46
5.2. Fase III. Caracterización de pipes .....	47
5.2.1. Desempeño térmico con pipes al medioambiente .....	47
5.2.2. Desempeño térmico con pipes en cámaras .....	48
5.3. Fase IV. Propuesta de chaleco y mediciones de lugar de trabajo .....	52
5.3.1. Mediciones en panadería .....	52
5.3.2. Selección de panadería y PCMs para el chaleco.....	55
5.4. Fase V. Evaluación del chaleco.....	56
5.4.1. Tasa de esfuerzo percibida .....	59
CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES .....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
ANEXOS .....	71

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 2.2.1.1. TRANSFERENCIA TÉRMICA UNIDIMENSIONAL .....	6
FIG. 2.3.2.1. PERFIL DE TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL CALOR SUMINISTRADO. ....	12
FIG. 3.1. 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO. ....	24
FIG. 4.1.1. ACEITES INICIALES.....	26
FIG. 4.1.2. ACEITES SEGUNDA PARTE. ....	26
FIG. 4.1.1.1. COLOCACIÓN DE PCM EN REÓMETRO.....	27
FIG. 4.1.2.1. COLOCACIÓN DEL PCM EN EL EQUIPO DE FTIR-ATR .....	27
FIG. 4.1.3.1. EQUIPO PARA OBTENER RANGO DE FUSIÓN. ....	28
FIG. 4.2.1. PIPE ELABORADO .....	28
FIG. 4.3.1. MÓDULO .....	29
FIG. 4.3.1.1. COLOCACIÓN TERMOPARES EN EL MÓDULO DEL CHALECO.....	30
FIG. 4.3.1.2. MÓDULO DEL CHALECO A LA INTEMPERIE .....	30
FIG. 4.3.2.1. CÁMARAS PARA MEDICIONES TÉRMICAS.....	31
FIG. 4.3.2.2. MÓDULOS CENSADOS.....	32
FIG. 4.4.1. ZONAS DONDE SE PRESENTA MAYOR SUDORACIÓN EN EL CUERPO UBICADAS EN EL CHALECO .....	33
FIG. 4.4.1.1. CHALECO .....	34
FIG. 4.4.2.1. ÁREA DE PANADERÍA 1.....	35
FIG. 4.4.2.2. ÁREA DE PANADERÍA 2.....	36
FIG. 4.4.2.3. ÁREA DE PANADERÍA 3.....	36
FIG. 4.4.2.4. ÁREA DE PANADERÍA 4.....	37
FIG. 4.5.1. ELABORACIÓN DEL PAN .....	38
FIG. 4.5.2. PREPARACIÓN DEL HORNO .....	38
FIG. 4.5.3. HORNEADO .....	39
FIG. 4.5.4. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS DURANTE EL HORNEADO.....	39
FIG. 4.5.1.1. COLOCACIÓN DE LOS TERMOPARES EN EL CHALECO.....	40
FIG. 4.5.1.2. TOMA DE SIGNOS VITALES DE LA PERSONA QUE UTILIZÓ EL CHALECO PCM .....	41
FIG. 4.5.1.3. PANADERO VISTIENDO EL CHALECO PCM .....	42
FIG. 4.5.1.4. ACTIVIDADES DURANTE EL HORNEADO CON EL CHALECO PCM PUESTO EN EL PANADERO.....	42
FIG. 5.1.1.1. BARRIDO DE TEMPERATURA EN ACEITES DE COCO.....	43
FIG. 5.1.1.2. BARRIDO DE TEMPERATURA DE ACEITE DE COROZO .....	44
FIG. 5.1.1.3. BARRIDO DE TEMPERATURA DE MANTECA DE CACAO.....	44

FIG. 5.1.1.4. BARRIDO DE TEMPERATURA DE ACEITE DE COCO HIDROGENADO .....	45
FIG. 5.1.2.1. ESPECTROS DEL ACEITE DE COCO VIRGEN, REFINADO Y COSMÉTICO .....	46
FIG. 5.2.1.1. DESEMPEÑO TÉRMICO AL MEDIO AMBIENTE DEL MÓDULO PCM DE ACEITE DE COCO REFINADO. ....	48
FIG. 5.2.2.1. DESEMPEÑO TÉRMICO TELA .....	49
FIG. 5.2.2.2. DESEMPEÑO TÉRMICO DEL MÓDULO DE AGUA DESTILADA .....	49
FIG. 5.2.2.3. DESEMPEÑO TÉRMICO DEL MÓDULO DE ACEITE DE COCO HIDROGENADO .....	50
FIG. 5.2.2.4. DESEMPEÑO TÉRMICO DEL MÓDULO DE MANTECA DE CACAO .....	50
FIG. 5.2.2.5. DESEMPEÑO TÉRMICO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO .....	51
FIG. 5.3.1.1. MONITOREO DE TEMPERATURAS EN PANADERÍA 1.....	53
FIG. 5.3.1.2. MONITOREO DE TEMPERATURA S EN PANADERÍA 2.....	53
FIG. 5.3.1.3. MONITOREO DE TEMPERATURAS EN PANADERÍA 3.....	54
FIG. 5.3.1.4. MONITOREO DE TEMPERATURAS EN PANADERÍA 4.....	54
FIG. 5.4.1. CHALECO SOLO .....	57
FIG. 5.4.2. PROM. MEDICIONES CENSADAS DEL CHALECO PCM - ACEITE DE COCO VIRGEN .....	58
FIG. 5.4.3. PROM. MEDICIONES CENSADAS DEL CHALECO PCM – A. COCO HIDROGENADO .....	59
FIG. 5.5.1.1. PERCEPCIÓN AL UTILIZAR EL CHALECO PCM.....	60
FIG. 5.5.1.2. COMODIDAD DE LA PRENDA.....	60
FIG. 5.5.1.3. USO DEL CHALECO DURANTE EL HORNEADO .....	61
FIG. 5.5.1.4. COMODIDAD EN EL TRABAJO.....	61
FIG. 5.5.1.5. CONTACTO CON EL CUERPO .....	62
FIG. 5.5.1.6. SENSACIÓN DE LA PRENDA.....	62
FIG. 5.5.1.7. INFLUENCIA DEL CHALECO DURANTE EL HORNEADO .....	63
FIG. 5.5.1.8. MEJORA EN EL TRABAJO.....	63

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2.7.1. DEFINICIÓN DEL RÉGIMEN DE TRABAJO SEGÚN LA ACTIVIDAD .....	21
TABLA 4.3.2.1. MATERIALES EN CÁMARAS.....	32
TABLA 5.1.3.1. RANGO DE FUSIÓN DE PCMS ORGÁNICOS.....	47
TABLA C.1. DATOS INICIALES Y FINALES DURANTE EL EXPERIMENTO .....	77

## SIMBOLOGÍA

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
$C_p$	Calor específico (J/m <sup>3</sup> °C)	PCM	Material de cambio de fase
$cm^{-1}$	Número de ondas	PE	Energía potencial
E	Energía	$p$	Presión
$\varepsilon$	Emisividad	Q	Transferencia de calor
$H$	Entalpía	$\dot{Q}$	Rapidez de transferencia de calor (J/s=W)
$h_c$	Coefficiente térmico de transferencia convectivo (W/m <sup>2</sup> ·K)	$q''$	Flujo de calor
$h_i$	Entalpía del sólido saturado	$R_{mat}$	Resistividad del material (m <sup>2</sup> ·°C/W)
$h_{if}$	Calor latente de fusión	SHS	Sistema de almacenamiento de calor sensible
$h_f$	Entalpía del líquido saturado	T	Temperatura (°C)
K	Conductividad térmica (W/m·K)	$\Delta T$	Variación de temperatura
KE	Energía cinética	t	Tiempo (s)
L	Longitud (cm)	U	Energía interna
LHS	Sistema de almacenamiento de calor latente	VO <sub>2</sub>	Saturación de oxígeno
		W	trabajo
		W	Watts

## INTRODUCCIÓN

Los materiales de cambio de fase ofrecen grandes ventajas para conseguir un confort térmico, ya que pueden almacenar calor y liberarlo gradualmente en función de las condiciones ambientales. Por esta característica son utilizados en la industria alimenticia, farmacéutica, de construcción y textil. En este último sector, gracias a la implementación en la vestimenta de PCMs, se ayuda a proteger al individuo del medio donde realiza sus actividades, a ofrecerle confort y mejorar su desempeño en sus actividades.

En la presente investigación se trabajó con los aceites orgánicos de coco virgen, de coco refinado, de coco cosmético, de corozo, de coco hidrogenado y manteca de cacao, como materiales de cambio de fase naturales con un sistema de almacenamiento diferente a otros estudios donde, por ejemplo, se compran los encapsulados ya hechos. El aceite orgánico PCM se implementó en un chaleco de trabajo para actividades no sedentarias en ambientes calurosos, con lo cual se espera aumentar la eficiencia laboral al conseguir confort térmico en los trabajadores. Para lo cual se siguió una metodología de trabajo conformada por cinco fases: la primer fase consistió en la caracterización de aceites orgánicos con cambio de fase, la segunda en la elaboración de contenedores del PCM, la tercera consistió en la evaluación de los contenedores, la cuarta en la propuesta de chaleco PCM y evaluación de lugares de trabajo donde realizar el experimento y la fase cinco consistió en la evaluación del chaleco PCM en persona laborando en ambiente térmicamente agresivo. Las pruebas realizadas fueron de reología, FTIR-ATR, rango de fusión y desempeño térmico. Los resultados de este trabajo demostraron la reducción del estrés térmico en personas que trabajan en un ambiente térmicamente agresivo mediante el uso del chaleco con aceite de coco hidrogenado y virgen. Para su uso a mayor escala se recomienda optimizar el sistema de almacenamiento del PCM.

## **PROBLEMA**

Los trabajos que realiza el individuo en jornadas largas, efectuando tareas de niveles moderados a altos de esfuerzo físico o en entornos con condiciones calurosas, exponen a los trabajadores a diferentes tipos de riesgos e incomodidades que afectan negativamente su salud y rendimiento laboral, especialmente si no se toman medidas preventivas (Itani et al., 2016). Para que la temperatura del interior del organismo se mantenga en equilibrio es necesario que los aumentos y mermas de calor del cuerpo se compensen. Como estas cantidades de calor pueden variar considerablemente, según el consumo de energía y las condiciones del medio, los mecanismos que regulan la eliminación del calor excesivo deben ser flexibles y eficaces (OMS, 1967).

El problema se puede presentar entonces como la búsqueda de un material de tipo orgánico con propiedades tales que se pueda incorporar a las prendas de vestir de seguridad del trabajador, que cumpla con mantener el equilibrio entre aumentos y mermas de calor del cuerpo humano durante las jornadas de trabajo y proporcionar el confort e higiene y seguridad laboral.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la industria textil, las investigaciones de los últimos años relacionadas con ella se han distinguido por la búsqueda de nuevos materiales que, al incorporarlos en el tejido, brinden una funcionalidad específica añadida, adicional a su uso como prenda de vestir, material o herramienta de trabajo. De esta manera surgen los textiles inteligentes o smart textiles, nombrados así debido a las propiedades termorreguladoras que son capaces de generar de acuerdo a la temperatura externa del medio en el que se encuentren. A estos

materiales, directamente se les incorpora en sus fibras o sobre el tejido, aromas, bactericidas, liberadores de fármacos o materiales termorreguladores.

Que el textil genere una sensación de frescura en una persona cuando el exterior presenta temperaturas altas o al revés, es decir que provea calidez cuando el exterior es frío, se consigue por la incorporación de materiales con una adecuada temperatura y calor latente de cambio de fase, denominados materiales de cambio de fase o PCMs por sus siglas en inglés “Phase Change Materials”. Cuando se trabaja con temperaturas extremas y se busca evitar que el individuo pierda su temperatura ideal o confort, se recurre a materiales aislantes. Los PCMs aplicados a prendas de confort térmico guardan el calor acumulado y lo van soltando cuando el cuerpo lo requiere, es decir, en vez de funcionar como un aislante, trabajan como un regulador térmico. Algunas marcas que utilizan PCMs son Thermabsorb, Comfortemp Thermal Insulation por Freudenberg y Outlast. Diversas aplicaciones de encapsulaciones de PCMs son patentes de materiales o productos, resultado de investigaciones concernientes a empresas (Sánchez, 2010).

Una de las formas prácticas de uso de estos materiales en prendas de higiene y seguridad para el trabajo, es aplicarlos en chalecos termorreguladores que los trabajadores puedan usar mientras realizan su trabajo. Los PCMs con mayor disponibilidad en el mercado son los inorgánicos, los cuales presentan una alta conductividad y temperaturas de fusión. Los PCMs orgánicos presentan temperaturas de fusión menores que los anteriores y los principalmente comercializados son las parafinas (Ruano, 2011).

En el presente trabajo se busca proponer el uso de aceites orgánicos como material de cambio de fase en textil, un compuesto diferente a los comerciales; en este caso en un chaleco que funja a manera de termorregulador para labores no sedentarias en ambientes



calurosos, mismo que sirva como una herramienta de trabajo, que mejore las condiciones de seguridad e higiene y en consecuencia que aumente la productividad.

## **HIPÓTESIS**

La integración de aceite orgánico como material de cambio de fase dentro del chaleco consigue la reducción del estrés térmico corporal.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Reducir el estrés térmico de personas que trabajan en un ambiente térmicamente agresivo mediante el desarrollo de un chaleco de trabajo que integra un material de cambio de fase orgánico.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar al PCM mediante pruebas reológicas, análisis de espectro infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR-ATR) y rango de fusión para conocer sus características térmicas.
- Elaborar y caracterizar pipes (tubos) con material de cambio de fase orgánico para disipar el calor con mayor eficiencia, mediante monitoreo de temperaturas a través de un textil.

- Implementar los pipes con PCM en un chaleco de trabajo, para comparar la disipación de calor entre éste y un chaleco sin PCM (control), mediante pruebas en personas.
- Evaluar el chaleco en ambientes laborales de extremo calor, mediante pruebas en personas.

## CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN

Desde 1980 hasta la fecha, se han utilizado materiales con cambio de fase por ser materiales que aprovechan el calor latente, al poder almacenar la energía que se genera durante el cambio de estado en el entorno de la temperatura de operación, aunque son una aplicación poco empleada en la edificación (Campos, 2010), siendo una solución térmica potencial al almacenar más energía en forma latente que la típica energía sensible almacenada por materiales comunes (Amaral et al., 2017). Para implementar los PCMs en textiles, es necesario almacenar el PCM con el fin de evitar pérdidas cuando el material cambie de estado, existiendo diferentes sistemas de almacenamiento, principalmente el macroencapsulado y el microencapsulado, que a su vez se consiguen por procesos físicos o químicos. Por ejemplo, para microencapsular por medio de procesos físicos, algunos métodos utilizados son por pulverizado, centrifugado, en lecho fluido o recubrimiento como los cilindros de laminación. Para encapsular mediante procesos químicos, se puede realizar a través de encapsulados *in situ* como coacervaciones. Los procesos *in situ* tienen la capacidad de dotar a las microcápsulas con mejor calidad en términos de difusión (Ruano, 2011). Mientras que para la macroencapsulación de materiales de cambio de fase, se requiere y/o utiliza cualquier tipo de contenedor capaz de almacenar los PCMs como tubos, esferas o paneles, los cuales pueden ser usados mediante su acoplamiento a materiales de construcción o al actuar como intercambiadores de calor por sí mismos. El tamaño de estos contenedores es por lo general más de 1 cm<sup>3</sup>, almacenando desde varios mililitros hasta varios litros (Moscoso, 2016).

Para la aplicación textil de microencapsulados ignífugos, explica Monllor (2007) que se utilizan derivados del fosfato amónico o derivados del fósforo rojo; las membranas

de las microcápsulas por lo general son de poliuretanos combinados con algún poliéster o poliéter, melanina-formol, todos estos pensados para liberar la materia activa por. La parafina es un PCM utilizado con frecuencia, ya sea en estado líquido o sólido en aplicaciones en textiles; la parafina encapsulada se aplica sobre fibras acrílicas y en espumas de poliuretano se utilizan recubriendo sobre la superficie de la estructura textil (Ruano, 2011). Chamba (2017) comenta que los polímeros más utilizados como membrana de la microcápsula son melanina-formol o urea y en menor proporción poliuretanos convencionales formados por un isocianato y una amina, siendo ambos polifuncionales. En la industria textil, el triclosan se ha utilizado principalmente para las fibras de origen celulósico (Herrera, Martínez y Valdez, 2010). En 2004, Payne patentó el tratamiento de algodón y mezclas de algodón con triclosan mezclado con resinas de poliuretano y agentes plastificantes. También se ha aplicado en de tejidos de nylon y poliéster, aunque con deficiencias de resistencia a los lavados.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Introducción**

El diseño de los materiales de cambio de fase busca evitar la pérdida de calor mediante la absorción o desprendimiento del mismo, requieren de mucha energía térmica para tener un cambio de estado que generalmente es de la fase sólida a la líquida e inversamente, lo cual significa que se comporta de forma reversible, al poder cambiar de fase y regresar al anterior; para esto es importante conocer la temperatura necesaria para el cambio de fase, ya que puede variar considerablemente. Los principales materiales de cambio de fase utilizados son ceras y parafinas (alcanos), siendo éstas las más empleadas debido a su

capacidad de almacenamiento, la cual es mayor al agua cuatro veces. A diferencia de métodos comunes, los PCMs consiguen acumular mayor energía a temperaturas constantes. Un ejemplo claro se tiene con el agua y sus cambios de fase: si se le suministra calor al agua en estado líquido y sube hasta las 100°C habrá un cambio de fase, de líquido a vapor, mientras se calienta habrá un cambio lineal de la temperatura hasta que llegue al punto donde sea vapor y mantenga una temperatura constante, el cual es su calor latente. Al cambiar de estado de sólido-líquido-gas y viceversa, se repetirá esta secuencia, de manera creciente o decreciente, presentándose un almacenamiento de energía.

Por las diferentes temperaturas que hay en un día, ocurre periódicamente la fusión y solidificación, es decir almacenar y liberar calor en el momento requerido. Durante el día se absorbe el máximo calor posible y por la noche es disipado (Campos, 2010). Los PCMs pueden clasificarse en orgánicos, eutécticos orgánicos, inorgánicos, eutécticos inorgánicos, mezclas no eutécticas de sustancias inorgánicas y ácidos grasos o bien, en base al tamaño de las cápsulas, dividiéndose en micro PCMs y en macro PCMs. Existen PCMs como materias primas y también PCMs compuestos, que según las combinaciones de aditivos que se les agreguen pueden cambiar sus propiedades o incluso adquirir una nueva. Sus aplicaciones pueden ser desde revestimientos, envoltura del edificio o incluso formar parte de su estructura.

Un uso común que se daba anteriormente en las grandes instalaciones de climatización, era utilizar el agua como material de cambio de fase, pero se ha vuelto obsoleto, esto debido a los costos iniciales de inversión, a que los gastos de mantenimiento son considerables y porque requieren de fluidos secundarios para su buen funcionamiento. Otro PCM utilizado con frecuencia son los que están hechos a base de sales hidratadas, aunque cuentan con inconvenientes a largo plazo, como su pronto envejecimiento por

decantación, no obstante, ya existen otros materiales que no se oxidan y no muestran problemas de dilataciones, por ejemplo el hielo y en los que se puede seleccionar la temperatura de cambio de fase requerida. Estos materiales pueden utilizarse en plásticos con diversas morfologías como cilindros, placas y esferas, donde el medio fluido que transmite el calor son el agua o aire; otra de las aplicaciones es su introducción en tubos o *pipes* de las baterías aleteadas y fuera de ellos y de las aletas, circulando en los tubos el agua o fluidos frigoríferos. Su aplicación es variada, desde sistemas de refrigeración hasta en calefacción activa y pasiva, en estos últimos los PCMs pueden ser encapsulados en materiales para la edificación, como concreto, paneles de yeso, techos o suelos, aumentando así la capacidad de almacenamiento térmico del edificio. Los materiales mencionados pueden captar la energía solar de forma directa o energía térmica mediante convección natural. Las ventajas de aumentar la capacidad de almacenamiento térmico están directamente relacionadas con el confort humano, ya que se disminuiría la magnitud del cambio entre las temperaturas externas e internas, aproximándola a las deseadas por mayor tiempo.

## **2.2. Transferencia de calor**

El calor es una transferencia, un cuerpo no tiene calor sino energía térmica. Al manifestarse un incremento de temperatura resultado de la transformación de energías, se genera el calor; a su vez el calor es la energía que resulta de los movimientos vibratorios de átomos y moléculas que componen los cuerpos. Esta sería la forma de ver al calor de manera macroscópica y microscópica, respectivamente, desde la perspectiva de considerar el cuerpo como un sistema termodinámico. La energía cinética y potencial serían

manifestaciones de la energía macroscópica, ya que dependen del medio externo, mientras que la energía interna del sistema, representada por  $U$  sería la energía microscópica.

Dentro de un sistema, las moléculas que lo componen vibran y giran, confiriendo energía cinética que sería la energía sensible, debido a que la velocidad promedio de las moléculas es proporcional a la temperatura, que es lo que podemos percibir. Las moléculas también están enlazadas por fuerzas de atracción, las cuales son mayores a menores en sólidos, líquidos y gases respectivamente. La energía relacionada con la fase en la que está el sistema se llama energía latente. Existen otras energías internas del sistema como la energía nuclear, etc. Pero hay manifestaciones de energía que no se pueden guardar, que solo aparecen cuando hay interacción, a la cual se nombra energía ganada o perdida por el sistema, siendo la transferencia de calor y el trabajo. Cuando el origen o la fuerza motriz de la interacción es una diferencia de temperatura, decimos que es calor, en caso contrario es trabajo. Potter y Scott (2004) explican que:

La transferencia de calor se puede definir como la energía transferida a través de la frontera de un sistema, debida a una diferencia en temperatura entre el sistema y el entorno de éste y calor, es la cantidad de energía que se transfiere. El calor transferido a un sistema se considera positivo y el calor transferido de un sistema se considera como negativo. Una transferencia positiva de calor agrega energía a un sistema, mientras que un trabajo positivo extrae energía de un sistema. Debido a que un sistema no contiene calor, el calor no es una propiedad. Por lo tanto, su diferencial es inexacta y se escribe como  $\delta Q$  donde  $Q$  es la transferencia de calor. Para un proceso particular entre el estado 1 y estado 2, la transferencia de calor puede escribirse como  $Q_{1-2}$  pero generalmente se denota solo como  $Q$ . A veces es conveniente referirse a la transferencia de calor por unidad de masa  $q$  definida como

$$q = \frac{Q}{m} \quad (1)$$

Con frecuencia se está interesado en la rapidez de transferencia de calor, denotada por  $\dot{Q}$ , con unidades de  $J/s=W$ , o en flujo de calor, que se define como

$$q'' = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2)$$

y tiene unidades de  $W/m^2$ . Del mismo modo, a veces es conveniente definir la rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud:

$$q' = \frac{\dot{Q}}{L} \quad (3)$$

con unidades de  $W/m$ .

Se definen tres modos de transferencia de calor: por conducción entre cuerpos sólidos en contacto, por convección en fluidos (líquidos o gases) o por radiación a través del medio en que la radiación pueda propagarse. En general, cada uno de estos tres modos de transferencia de calor se refiere a una rapidez separada de energía que cruza un plano o superficie específicos (p.68).

### 2.2.1. Conducción

Debido a las discrepancias de temperatura que hay en un material, se presenta esta transferencia de calor. De acuerdo a Potter y Scott (2004):

Representa transferencia de calor por el movimiento molecular aleatorio o difusión en ausencia de gradientes de velocidad, por lo que puede existir conducción de calor en sólidos, líquidos y gases, pero es más común en sólidos. La relación entre la rapidez de transferencia de calor y temperatura para conducción se llama ley de Fourier de transferencia de calor. Para una pared plana unidimensional, como se ve en la figura 2.2.1.1, la relación entre temperatura y el flujo de calor es:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Donde  $k$  es una propiedad de transporte llamada conductividad térmica y tiene unidades de  $W/m \cdot K$  y el subíndice indica transferencia de calor en la dirección  $x$ .

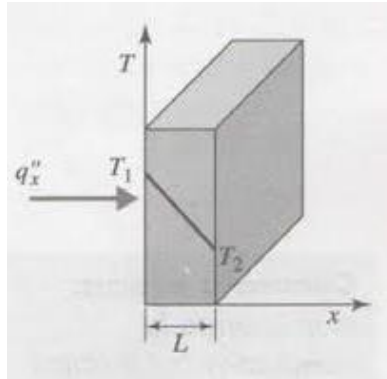


Fig. 2.2.1.1. Transferencia térmica unidimensional en estado estable a través de una pared plana. Fuente: Potter y Scott, 2004.

Para una conducción térmica unidimensional en estado estable a través de una pared plana de grosor  $L$ , la distribución de temperatura es lineal, como se ve en la figura 2.2.1.1. Por lo tanto, para este caso, el flujo térmico se puede expresar en términos de las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en cada frontera:

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (5)$$

La conductividad térmica es una propiedad que depende del material, que indica la rapidez con la que un material determinado puede transportar energía. Está principalmente asociada a sólidos, se puede dividir en dos componentes, uno asociado con el flujo de electrones libre y el otro, con las ondas vibratorias de la malla. El primero es proporcional al inverso de la resistividad eléctrica; el segundo factor es una función de la regularidad de la distribución de la malla. Como el efecto del flujo de electrones libres generalmente tiene una influencia más fuerte en la estructura de la malla, las conductividades térmicas de metales puros suelen ser más altas que las de materiales no metálicos (exceptuando estructuras cristalinas extremadamente ordenadas como el diamante), y la conductividad térmica de estructuras cristalinas por lo común son mayores que las de materiales amorfos. Un grupo importante de materiales se conoce como materiales de aislamiento, los cuales se procesan en espumas y fibras, que pueden atrapar aire en pequeños espacios, por esta razón, la conductividad térmica de estos materiales es un valor efectivo que incluye las propiedades tanto del aire como de materiales sólidos. Generalmente se expresa en términos de resistividad térmica  $R_{mat}$  que representa resistividad en lugar de conductividad para un grosor determinado de material. Por esto, cuanto más alto sea  $R_{mat}$  menor es la transferencia de calor. Si usamos la ecuación (5) para una pared plana unidimensional bajo condiciones de estado estable, podemos expresar sea  $R_{mat}$  con la ecuación

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{T_1 - T_2}{R_{mat}} \quad (6)$$



Donde  $R_{mat}$  tiene unidades de  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ . La resistividad está relacionada a la conductividad por medio de

$$R_{mat} = \frac{L}{k} \quad (7)$$

Además de los efectos del estado del material, la conductividad térmica también está en función de la temperatura. Para numerosos sólidos, se puede suponer constante en pequeños intervalos de temperatura. La conductividad térmica de gases generalmente aumenta con la temperatura y disminuye con la masa molar. Aun cuando la conductividad térmica de los gases aumenta con la temperatura, la conductividad térmica para líquidos puede aumentar, disminuir o, como en el caso del agua, aumenta y luego disminuir cuando aumenta la temperatura (p. 69).

### 2.2.2. Convección

Potter y Scott (2004) explican la convección como:

La energía transferida de la superficie de un sólido a un fluido en movimiento se denomina convección. Es una combinación de transferencia de energía por movimiento molecular aleatorio (conducción) y movimiento volumétrico del fluido (advección). Entonces, si no hay movimiento volumétrico del fluido, la energía se transfiere solo por conducción. La convección puede expresarse en términos de la diferencia de temperatura entre la temperatura del fluido volumétrico  $T_\infty$  y la temperatura  $T_s$  en la superficie del sólido. La ley de Newton del enfriamiento describe el flujo como

$$q'' = h_c(T_s - T_\infty) \quad (8)$$

Donde  $h_c$  recibe el nombre de coeficiente de transferencia de calor convectivo con unidades de  $W/m^2 \cdot K$  y es una función de las condiciones de flujo, las propiedades de transporte de fluido y la geometría de la pared. El coeficiente de transferencia térmica convectiva,  $h_c$ , no es una propiedad del fluido porque su valor no depende sólo de las propiedades del fluido (p. 72).

La convección puede clasificarse como forzada o libre, esta última difiere de la convección forzada en que el movimiento del fluido en convección libre se debe a la dependencia en temperatura y la densidad de un fluido. Por lo tanto, cuando un fluido se calienta, su densidad disminuye y sube por encima de la del fluido más frío, más denso. Como el flujo de fluido en este caso suele ser pequeño, los coeficientes de transferencia térmica asociados con una convección forzada son por lo general mayores que los asociados con convección libre (Potter y Scott, 2004).

### 2.2.3. Radiación

Según explican Potter y Scott (2004):

Todas las superficies emiten energía como radiación y todas las superficies absorben parte de la energía radiativa que incide sobre la superficie que emana del entorno. Físicamente, radiación es la

transferencia de energía en forma de fotones. Por lo tanto, es posible transferir radiación a través de una sustancia transparente, como el aire, y difiere de otras formas de transferencia térmica en que puede transferirse a través de un vacío perfecto. La rapidez de radiación que es emitida por unidad de área de una superficie se denomina poder de emisión  $q''_{\varepsilon b}$  con unidades de  $W/m^2$ . Para cualquier temperatura determinada, hay un límite superior a la cantidad de radiación que se pueda emitir, la superficie asociada se llama cuerpo negro. La radiación emitida por tal cuerpo negro está determinada por la ley de Stefan-Boltzman:

$$q''_{\varepsilon b} = \sigma T^4 \quad (9)$$

Donde  $q''_{\varepsilon b}$  representa la radiación de un cuerpo negro ( $W/m^2$ ), T es la temperatura absoluta (K) de la superficie y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman y es igual a  $5.67 \times 10^8 W/m^2 \cdot K^4$ . Como resultado de la cuarta potencia, la radiación se hace muy importante a altas temperaturas.

Puesto que el cuerpo negro representa un límite superior, las superficies reales emiten una parte de este límite. Por lo tanto, el flujo emitido por unidad de área de una superficie real se puede expresar en términos de la emisión de cuerpo negro como

$$\begin{aligned} q''_{\varepsilon} &= \varepsilon q''_{\varepsilon b} \\ &= \varepsilon \sigma T^4 \end{aligned} \quad (10)$$

Donde  $\varepsilon$  es la propiedad sin dimensiones llamada emisividad, con valores de 0 a 1. La emisividad es una indicación de la eficiencia con la que la superficie emite energía radiativa en comparación con un emisor perfecto (un cuerpo negro).

Cuando se realiza análisis de transferencia térmica radiativa también se debe considerar la cantidad de radiación absorbida por la superficie. El flujo total de radiación sobre la superficie es la irradiación (Potter y Scott, 2004).

### 2.3. Primera ley de la termodinámica

O ley de conservación de energía. El estudio de la conservación de energía destaca cambios en energía cinética y potencial y sus relaciones con un trabajo, una forma más general de conservación de energía incluye los efectos de transferencia térmica y cambios en energía interna. A esta forma más general se le llama Primera ley de termodinámica. Potter y Scott (2004) explican que la transferencia térmica será exactamente igual al trabajo realizado:

Si se aplica a un proceso donde el sistema cambia de un estado a otro, se tiene

$$\int_1^2 \delta Q_A + \int_2^1 \delta Q_B = \int_1^2 \delta W_A + \int_2^1 \delta W_B \quad (11)$$

Al intercambiar los límites sobre el proceso a lo largo de B, se obtiene

$$\int_1^2 \delta(Q - W)_A = \int_1^2 \delta(Q - W)_B \quad (12)$$

Es decir, el cambio en la cantidad  $Q - W$  del estado 1 al estado 2 es igual a lo largo de la trayectoria A que a lo largo de la trayectoria B; como este cambio es independiente de la trayectoria entre los estados 1 y 2, se hace

$$\delta Q - \delta W = dE \quad (13a)$$

donde  $dE$  es una diferencial exacta. La cantidad  $E$  es una propiedad extensiva del sistema; integrando la ecuación 13a se obtiene

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = E_2 - E_1 \quad (13b)$$

donde  $Q_{1-2}$  es el calor transferido al sistema durante el proceso del estado 1 al estado 2,  $W_{1-2}$  es el trabajo realizado por el sistema sobre el entorno durante el proceso y  $E_2$  y  $E_1$  son los valores de la propiedad  $E$ , que representa toda la energía: cinética  $KE$ , energía potencial  $PE$  y energía interna  $U$  que incluye energía química y la energía asociada con las moléculas y átomos. Cualquier otra forma de energía también se incluye en la energía total  $E$ .

La primera ley de la termodinámica toma la forma de

$$\begin{aligned} Q_{1-2} - W_{1-2} &= KE_2 - KE_1 + PE_2 - PE_1 + U_2 - U_1 \\ &= \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1) + U_2 - U_1 \end{aligned} \quad (14)$$

(p. 85).

### 2.3.1. Entalpía

Para definir la entalpía (Potter y Scott, 2004), supóngase un sistema a presión constante, donde se le agrega calor lentamente para levantar un peso. Si los cambios de energía cinética y los de energía potencial del sistema son insignificantes y están ausentes todos los otros modos de trabajo, la primera ley de la termodinámica requiere que

$$Q - W = U_2 - U_1 \quad (15)$$

El trabajo realizado al levantar el peso para el proceso a presión constante está dado por

$$W = p(V_2 - V_1) \quad (16)$$

La primera ley puede escribirse entonces como

$$Q = (U + pV)_2 - (U + pV)_1 \quad (17)$$

La cantidad en paréntesis es una combinación de propiedades y por tanto, una propiedad en sí, que se denomina *entalpía*  $H$  del sistema; esto es

$$h = u + pV \quad (18)$$

La entalpía específica  $h$  se encuentra al dividir la masa, siendo

$$h = u + pv \quad (19)$$

La entalpía es una propiedad de un sistema. La ecuación de energía se puede escribir para un proceso de equilibrio a presión constante como

$$Q_{1-2} = H_2 - H_1 \quad (20)$$

La entalpía se definió usando un sistema a presión constante con la diferencia en entalpías entre dos estados, siendo la transferencia térmica. Para un proceso a presión variable, la diferencia en entalpía pierde su significado físico cuando se considera un sistema. Pero la entalpía permanece siendo una propiedad, como lo define la ecuación 18. En un proceso a presión constante no en equilibrio,  $\Delta H$  no sería igual a la transferencia térmica (Potter y Scott, 2004).

### 2.3.2. *Calor latente*

La fuerza que resulta en forma de calor se llama energía térmica, la cual transfiere energía de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura. La energía térmica se puede guardar como un cambio en la energía interna de un material, en forma de reacciones químicas al aprovechar el calor puesto en juego en la reacción, en forma de calor sensible ya sea porque la temperatura del material acumulador aumenta o disminuye o en forma de calor latente al valerse de la entalpía asociada a un cambio de fase (Ruano, 2011). Mientras que Potter y Scott (2004) lo explican como:

La cantidad de energía que debe ser transferida, en forma de calor, a una sustancia se mantiene a presión constante para que ocurra un cambio de fase se llama calor latente. Es el cambio en entalpía de la sustancia a las condiciones saturadas de las dos fases. El calor que es necesario para fundir una unidad de masa de una sustancia a presión constante es el *calor de fusión* y es igual a  $h_{if} = h_f - h_i$  donde  $h_i$  es la entalpía del sólido saturado y  $h_f$  es la entalpía del líquido saturado. El calor de vaporización es el calor necesario para vaporizar completamente una unidad de masa de líquido saturado; es igual a  $h_{fg} = h_g - h_f$ . Cuando un sólido cambia de fase directamente a un gas, ocurre una sublimación; el calor de sublimación es igual a  $h_{ig} = h_g - h_i$ . El calor de fusión y el calor de sublimación son relativamente insensibles a cambios de presión o de temperatura (p. 91).

Los sistemas de almacenamiento de calor latente (LHS) constan de absorber o liberar calor cuando un material experimenta un cambio de estado, de sólido a líquido a gas o viceversa. Son un tipo de almacenamiento de energía térmica eficiente debido a que, a diferencia del método de almacenamiento de calor sensible, éste suministra mayor densidad de almacenamiento con menor volumen, con una diferencia de temperatura menor entre almacenamiento y liberación de calor.

La energía suministrada a un material, inicialmente en estado sólido, hace que aumente la temperatura del material de forma lineal. Cuando se alcanza la temperatura de fusión, la energía se sigue suministrando, pero ahora se emplea en el cambio de fase a líquido, durante el cual la temperatura se mantiene constante. La temperatura vuelve a aumentar cuando todo el material se encuentra en estado líquido, al ritmo que se suministra energía al sistema, en forma lineal. Así hasta llegar a la temperatura de vaporización, sucediendo un fenómeno isoterma similar al ya descrito, en el cual la energía se emplea en el cambio de fase (a temperatura constante) y hasta que el material esté totalmente en estado gaseoso, se produce un nuevo aumento de temperatura (Fig. 2.3.2.1). Al inverso, el proceso es igual, pudiéndose obtener energía almacenada a temperatura constante, al tiempo que se produce un cambio de fase en sentido reverso (Grande, 2016).

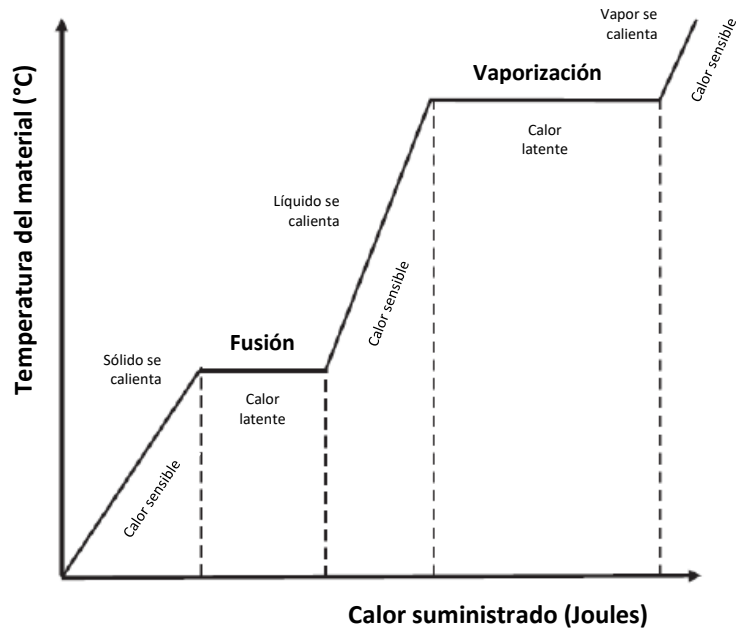


Fig. 2.3.2.1. Perfil de temperatura en función del calor suministrado. Fuente: Cárdenas, 2013, citado por Grande, 2016.

### 2.3.3. Calor específico

Para un sistema simple solo son necesarias dos variables independientes para establecer su estado. Por lo que se puede considerar la energía interna específica como una función de temperatura y volumen específico. O bien, es la cantidad de energía que se necesita para incrementar un grado centígrado un gramo de una sustancia pura. Para calcularlo se utiliza la fórmula

$$C_p = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (21)$$

Donde  $Q$  es el calor (Joules),  $m$  la masa y  $\Delta T$  el cambio de temperatura.

### 2.3.4. Calor sensible

Los sistemas de almacenamiento que utilizan el calor sensible (SHS), aprovechan la energía térmica que se almacena cuando se eleva la temperatura de un sólido o líquido,

empleando la capacidad calorífica y el cambio en la temperatura de los materiales cuando cargan y descargan. La cantidad de calor almacenado depende del calor específico del medio, el cambio de temperatura y la cantidad de material de almacenamiento, pero sus inconvenientes se deben a los grandes volúmenes o cantidad de masa requeridos para el almacenamiento y las pérdidas energéticas que se producen, vinculadas a la variación de temperatura de la masa acumuladora.

#### **2.4. Caracterización de materiales**

La caracterización de los materiales consta en obtener información sobre el material que está bajo estudio, pudiendo ser su estructura, composición, morfología o alguna otra propiedad del material, mediante la interacción de una señal (térmica, luminosa, entre otras) con una porción de dicho material. Cualquier caracterización de algún material tendrá un efecto sobre el mismo, generando un tipo de perturbación. Estudiar la respuesta del material a dicho efecto, concede conocimiento sobre sus propiedades.

La espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) está basada en los principios de la espectroscopía, la cual estudia la interacción de la luz con la materia. En esta técnica solo se ven los movimientos moleculares del material que se esté evaluando. Un espectrómetro infrarrojo opera con una pequeña muestra que se coloca en una celda infrarroja, donde es sometida a una fuente de luz infrarroja, la cual hace un barrido desde las longitudes de onda de  $4000\text{ cm}^{-1}$  hasta  $600\text{ cm}^{-1}$ . La intensidad de la luz transmitida a través de la muestra es medida en cada número de onda, lo que permite que la cantidad de luz absorbida por la muestra sea calculada por la diferencia entre la intensidad de la luz antes y después de pasar por la celda de muestra. Esto se conoce como el espectro

infrarrojo de la muestra. El análisis de espectro infrarrojo por transformada de Fourier por reflectancia total atenuada es más rápido, aunque se pierde un poco de información. La calorimetría diferencial de barrido (del inglés DSC) es una técnica empleada para estudiar qué ocurre cuando un polímero es calentado. Se usa para analizar las transiciones térmicas de un polímero, es decir, los cambios que tienen lugar en un polímero cuando se calienta. Y consiste en calentar la muestra en un platillo y otro platillo dejar vacío como referencia, cada platillo se apoya sobre la parte superior de un calefactor, se programa y se calientan a una velocidad específica, generalmente a  $10^{\circ}\text{C}$  por minuto. La velocidad de calentamiento es exactamente la misma a lo largo del experimento.

## **2.5. Métodos de evaluación de prendas de trabajo o similares**

Chuansi Gao, Kalev Kuklane e Ingvar Holmér (2011) partieron de la hipótesis de que cuanto mayor es el gradiente de temperatura (menor temperatura de fusión), más efectivo es el enfriamiento del cuerpo humano, basándose de su estudio previo donde, utilizando un maniquí térmico calentado mostró que los efectos de enfriamiento de PCM dependen del gradiente de temperatura, la masa y el área de cobertura (Gao et al. 2010). El objetivo de su estudio fue investigar si los efectos de enfriamiento de los chalecos PCM a dos temperaturas de fusión ( $24$  y  $28^{\circ}\text{C}$ ) medidos específicamente en el maniquí térmico (Gao et al. 2010) podrían validarse en sujetos humanos en condiciones de calor extremo. Las variables independientes incluyeron el chaleco de enfriamiento (control, chalecos) y la temperatura de fusión PCM ( $24$ ,  $28^{\circ}\text{C}$ ). Y mencionan que:

Los parámetros medidos incluyeron la temperatura rectal del sujeto ( $T_{\text{rec}}$ ), la duración desde la finalización de la exposición individual hasta el momento en que la temperatura rectal alcanzó su punto máximo durante el período de reposo ( $P_t$ ), la temperatura local de la piel ( $T_{\text{sk}}$ ), la frecuencia cardíaca, el consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ), las calificaciones subjetivas en el físico esfuerzo (6-20), sensación térmica de todo el cuerpo en una escala modificada de 9 puntos (5, insoportablemente



caliente; 4, muy caliente; 3, caliente; 2, cálido; 1, ligeramente cálido; 0, ni cálido ni frío; - 1, ligeramente frío; -2, frío; -3 muy frío), producción de sudor (pérdida de masa corporal), evaporación y acumulación en la ropa. Los datos se analizaron utilizando ANOVA de medida repetida unidireccional y prueba t independiente, cuando fue necesario. El efecto de enfriamiento dependiente del gradiente de temperatura de los PCM observado en el maniquí térmico calentado se valida en ensayos con sujetos humanos al mostrar el alivio del aumento de la temperatura del torso. La temperatura de fusión (24°C) tiene un efecto de enfriamiento más fuerte en la temperatura del torso que la temperatura de fusión más alta (28°C). La frecuencia cardíaca, la tasa de esfuerzo percibido, la sensación térmica y la producción de sudor también fueron un poco más bajas cuando se usaron los chalecos PCM con la temperatura de fusión más baja. No obstante, los dos chalecos PCM probados no tienen un efecto significativo en el alivio del aumento de la temperatura central durante el ejercicio en el calor. Sin embargo, las temperaturas bajas del torso en las condiciones vest24 y vest28 proporcionan un gradiente para la transferencia de calor del núcleo a la periferia. Para estudiar la posibilidad de un enfriamiento efectivo de la temperatura central, mencionan, se debe investigar el enfriamiento de las prendas con PCM a una temperatura de fusión aún más baja (por ejemplo, 15°C) y un área de cobertura más grande (p. 1209).

Itani et al. (2016) elaboraron un chaleco con PCM, el cual fue una mezcla de sal de sulfato de sodio y agua conocida como sal de Glauber con una temperatura de fusión de 32°C, para evitar altas ganancias de calor de los ambientes calurosos. Los paquetes de PCM en el modelo de tela-PCM se intercalan entre dos capas de aire y se supone que están más cerca de la capa de tela interna ya que se utilizan cierres de velcro en el chaleco de enfriamiento. Como es posible que se produzca condensación en la superficie de los paquetes PCM, ya que ésta es la ubicación de temperatura más baja en el microclima formado, el efecto de la condensación y el calor asociado debido al cambio de fase fue incorporado en los equilibrios de masa y energía del modelo de tela-PCM de las capas de aire de microclima y macroclima, en la temperatura de PCM y la fracción fundida de PCM. Los autores detallan que:

Los balances de masa consideraron el transporte de vapor de agua en la dirección horizontal entre la piel y la capa interna de tela, así como entre la capa interna de tela y las capas de aire microclima y macroclima. El transporte de vapor de agua se descuidó en las direcciones vertical y radial entre la tela adyacente y las capas de aire que cubren los segmentos del cuerpo correspondientes. Los equilibrios de energía consideraron los intercambios de calor entre la piel y la capa interna de tela por un lado y entre la capa interna de tela y las capas de microclima y macroclima de aire por otro lado. El objetivo del experimento fue validar las predicciones del modelo de tela-PCM de las temperaturas de la piel de los diferentes segmentos del torso y sus temperaturas de microclima de aire correspondientes y verificar si el modelo puede capturar las temperaturas segmentarias no uniformes debido a la cobertura de PCM en los segmentos del torso superior (pecho y hombros) e inferior (abdomen y espalda). Las temperaturas de los paquetes PCM se registraron durante toda la duración del experimento. El experimento se realizó en una cámara climática controlada ajustada a  $32.5 \pm 0.5$  ° C y una humedad relativa de  $40 \pm 2\%$  en el maniquí térmico "Newton" de 20 zonas, el cual divide al torso en cuatro segmentos, que incluyen los hombros, el pecho, el estómago o el abdomen y la espalda. El maniquí

térmico se puede controlar para que tenga temperaturas segmentarias constantes de la piel en un modo de temperatura de la piel constante o una potencia de calentamiento segmentaria constante en una potencia de calentamiento constante o modo de flujo de calentamiento. Los resultados de las temperaturas segmentarias de la piel y los flujos de calor asociados se registraron cada minuto utilizando el software de control ThermDAC, exclusivo para el maniquí térmico en una computadora separada. El maniquí térmico, vestido con una camisa de algodón de manga larga y pantalones, se colocó en una cámara climática cuya temperatura se mantuvo a  $32.5 \pm 0.5$  C. Las temperaturas segmentarias de la piel del maniquí se verificaron para determinar el equilibrio térmico con las condiciones ambientales para alcanzar aproximadamente  $32.5^{\circ}\text{C}$ . Una vez que se alcanzó el equilibrio, el maniquí se encendió al valor de flujo de calor de  $30 \text{ W/m}^2$  y se puso el chaleco de enfriamiento. Los paquetes de PCM a una temperatura inicial de  $22.3^{\circ}\text{C}$  se colocaron dentro de los bolsillos internos del chaleco que estarían adyacentes a los segmentos superior e inferior del torso. La duración del experimento fue de 150 min. Los termopares de tipo T que miden las temperaturas PCM y las temperaturas del microclima del aire se conectaron al registrador de datos OM-DAQPRO-3500 configurado para tomar una lectura cada 10 segundos con una precisión de  $\pm 0.3$  °C, ya que el software ThermDAC estaba limitado para el maniquí térmico (p. 31).

Wen Yi et al. (2017) examinaron y compararon la efectividad de un nuevo diseño chaleco de enfriamiento (con paquetes de refrigeración con punto de fusión de  $28^{\circ}\text{C}$  y una unidad de ventilación) para reducir la tensión térmica, simulando el ambiente de trabajo típico de verano de los sitios de construcción en Hong Kong mediante una cámara climática. Su protocolo de ejercicio incluyó 30 minutos de descanso previo al ejercicio, ejercicio (6 minutos de calentamiento y 48 minutos de trote / caminata intermitente) y recuperación posterior al ejercicio (6 minutos de recuperación activa y 30 minutos de recuperación pasiva). Cada participante realizó tres ensayos experimentales en orden aleatorio en días separados con al menos una semana de diferencia. Además, sobre los tres ensayos experimentales, mencionan que

(...) involucraron chaleco de enfriamiento usado sobre el uniforme de construcción durante los períodos de ejercicio y recuperación (ALL-COOL), solo durante la recuperación pasiva (REC-COOL) y durante toda la exposición al calor pero sin chaleco de enfriamiento (CON). Mencionan que el ejercicio intermitente se diseñó porque el trabajo de construcción es en gran medida de naturaleza intermitente. Las intensidades de ejercicio se diseñaron en base al gasto de energía de los trabajadores de barras de refuerzo capturados en sitios de construcción durante el caluroso verano en sus estudios previos (p. 94).

Hasan y Dincer (2019) experimentaron con bolsas comunes de entregas de alimentos, para compararlas con dos variantes de bolsas de aire (una que incluía poliuretano de una pulgada de grosor alrededor del perímetro, la segunda que incluía tres crestas de una

pulgada de grosor espaciadas equitativamente dentro del perímetro) y con una bolsa de referencia integrada con paneles de vacío. El experimento consistió en simular la temperatura de una pizza con un disco de acero, el cual se calentó y se monitoreó en cuatro puntos, tres en su superficie y el último en el medio ambiente, para conocer las temperaturas en cada una de las bolsas. Se colocaron tres cajas de pizza, en la del medio se situó el disco, las cajas se utilizaron para soportar la estructura de las bolsas de entrega y para mantener la consistencia en términos de volumen. En todas las pruebas se utilizó una bolsa de entrega de pizza vacía de 16 pulgadas que podría equiparse con diversos materiales de aislamiento térmico. Los paneles de vacío solo se insertaron en el lado superior e inferior de la bolsa de entrega. Los termopares utilizados fueron de tipo K y se unieron al disco de metal como se mencionó anteriormente. Se utilizó un módulo de adquisición de datos Omega OMB-DAQ-2416, junto con un módulo de expansión OMB-AI-EXP32. TracerDAQ fue el software utilizado para rastrear las fluctuaciones de temperatura. La transferencia de calor conductivo determinó las pérdidas causadas por la conducción en la bolsa de entrega. Como la bolsa de entrega es constante en área, la conductividad térmica durante los experimentos fue el único factor que determinó su rendimiento. Hasan y Dincer (2019) detalla que:

Cuando la bolsa se coloca en la superficie del banco de pruebas, experimenta una transferencia de calor por convección libre. Al representar la bolsa como un prisma rectangular, cada lado experimenta convección libre de manera diferente. Representándose con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = h_c \times A \times dT$$

Donde

$\dot{Q}$ = calor transferido (W),  $A$ = área de transferencia de calor ( $m^2$ ),  $h_c$ =coeficiente de transferencia de calor convectivo ( $\frac{W}{m^2K}$ ),  $dT$ =gradiente de temperatura en cada acceso.

El rendimiento se evaluó a través de la eficiencia energética y de la eficiencia de las diferentes configuraciones de aislamiento. El objetivo principal de la bolsa de entrega es mantener la mayor parte de la energía inicial del producto alimenticio independientemente del frío o el calor, mientras se mantiene la humedad relativa del ambiente dentro de la bolsa en los niveles deseados. La eficiencia energética se definió en este documento para considerar solo la energía, en referencia a la temperatura promedio final y las temperaturas promedio iniciales de las pizzas, la eficiencia de exergía se define en referencia de la temperatura media final del disco a la temperatura ambiente. Para confirmar la

precisión de los resultados, ellos realizaron un análisis de incertidumbre (la incertidumbre experimental consiste en errores aleatorios y sistemáticos). La eficiencia energética y de eficiencia promedio aumentó con respecto a las logradas por la bolsa de referencia. Se observó que el aumento promedio en el rendimiento fue de 1.1% y 1.3% en eficiencia energética y de ejercicio (p. 1205).

## 2.6. Aceites

Los fluidos son estudiados por la reología, que es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo aplicado. La reometría es el conjunto de técnicas estandarizadas usadas para determinar experimentalmente las propiedades reológicas de un material, como viscosidad, esfuerzo de flujo, módulo elástico, módulo viscoso o tiempo de relajación.

La palabra aceite se utiliza para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no son solubles en agua y cuya densidad es menor que ésta. Los aceites pueden ser de combustibles, minerales o comestibles, éstos a su vez pueden ser de origen animal o vegetal. Los aceites comestibles pueden dividirse en dos tipos: vírgenes y refinados. El refinar aceites comestibles, los somete a un proceso donde se adecúa a las características esperadas por los consumidores, siendo sabor, olor suaves, aspecto limpio, color claro, estabilidad frente a la oxidación e idoneidad para freír. Román, García y Salgado (2016) explican que el proceso de refinado del aceite busca cuatro objetivos:

1. Eliminar los ácidos grasos libres, los cuales provocan el deterioro del producto final por hidrólisis. Se realiza por neutralización con lejía sódica o físicamente por destilación.
2. Eliminar los fosfolípidos, también llamados gomas. Se produce el aglomerado de los mismos añadiendo un ácido débil, y después se pueden arrastrar fácilmente con agua.
3. Eliminar los compuestos volátiles, los cuales generan mal olor y sabor. Se realiza mediante destilación a vacío y arrastre con vapor.
4. Eliminar otros contaminantes, como metales o pigmentos, mediante la adición de tierras decolorantes y/o carbón activo.

Los dos principales sistemas de refinado, comentan Román, García y Salgado (2016):

“Son el refinado alcalino y el refinado físico (arrastre de vapor, neutralización destilativa), que se emplean para extraer los ácidos grasos libres. El método clásico de refinado alcalino comprende normalmente las siguientes etapas:

1. Desgomado con agua para eliminar los fosfolípidos fácilmente hidratables y los metales.
2. Adición de pequeñas cantidades de ácido fosfórico o cítrico para convertir los restantes fosfolípidos no hidratables (sales de Ca, Mg) en fosfolípidos hidratables.
3. Neutralización de los ácidos grasos libres con un ligero exceso de solución de hidróxido sódico, seguida de la eliminación por lavado de los jabones y de los fosfolípidos hidratados.
4. Blanqueo con tierras minerales naturales o activadas con ácido para adsorber los compuestos coloreados y para descomponer los hidroperóxidos.
5. Desodorización para eliminar los compuestos volátiles, principalmente aldehídos y cetonas, con bajos umbrales de detección por el gusto y el olfato. La desodorización es fundamentalmente un proceso de destilación con vapor que se lleva a cabo a bajas presiones (2-6 mbares) y elevadas temperaturas (180-220 °C)”.

### ***2.6.1. Aceites con cambio de fase***

Algunos aceites que presentan la característica de cambio de fase son:

La manteca de cacao o aceite de julri es la grasa natural comestible que proviene del haba del cacao, la cual se extrae durante el proceso de fabricación del chocolate y mediante presión, es separada de la masa del cacao. El cacao es el único sólido que se funde en el chocolate y su punto de fusión coincide con la temperatura corporal de los mamíferos, además de presentar diferentes puntos de fusión. Biswas et al. (2017) realizaron comparaciones de las propiedades fisicoquímicas de diferentes mezclas ternarias de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) y manteca de cacao, citando que la manteca de cacao empieza a fundir entre 30 a 32°C y obtuvieron que las temperaturas de fusión de las mezclas de aceite de palma estuvieron entre 18.5 a 37°C. El aceite de corozo es un aceite que se obtiene de las almendras de la palma *Acrocomia aculeata*, el cual ha sido estudiado para su uso cosmético o como sustituto o complemento de aceites convencionales como el aceite de coco y de palmiste (Belén-Camacho et al., 2005). El aceite de coco es una sustancia grasa que contiene alrededor de 90% de ácidos saturados, haciéndolo lento en su oxidación. Dispone de diferentes usos, como alimenticio o cosmético. También ha sido probado como materia prima para el biodiésel.

### **2.6.2 Operaciones de modificación**

Para modificar las características de aceites se realizan operaciones de modificación, como Hidrogenación

Es el procedimiento químico mediante el cual, se transforma a los aceites en grasas sólidas, por medio de adicionar hidrógeno a altas presiones y temperaturas, y utilizando un catalizador. La hidrogenación es la técnica más empleada para el aumento del punto de fusión de grasas alimentarias.

Explicando un poco más, el hidrógeno, debido a la acción del catalizador, satura los enlaces insaturados del aceite, aumentando de esta forma su punto de fusión. La reacción sucede a velocidades apreciables a partir de los 110°C aproximadamente. La presión total, la concentración y la mayor cantidad de catalizador ayudan a que la velocidad de reacción sea alta. Los materiales necesarios para realizar este proceso son un sustrato insaturado, es decir, el aceite que se desea saturar, catalizador, el cual es de origen metálico como níquel, platino o paladio e hidrógeno, ya que es la fuente de oxigenación; el proceso consta de una reacción química de hidrogenación.

## **2.7. Normativas**

Itani et al. (2017), habla de una división de trabajo según la temperatura:

Ambiente A (clima frío): a 28°C y 60% de humedad relativa, donde el humano trabajará continuamente durante un periodo de 2 horas seguido de un periodo de recuperación en reposo de 0.25 horas.

Ambiente B (clima moderado): a 35°C y 50% de humedad relativa, donde el humano trabajará continuamente durante 2 horas seguido de un periodo de recuperación de descanso de 0.25 hrs (similar al ambiente A).

Ambiente C: (clima caliente) a 45°C y 30% de humedad relativa, donde el humano trabajará continuamente durante un periodo de 0.75 horas seguido de un periodo de recuperación en reposo de 0.25 hrs. (p. 419).

La normativa mexicana establece que los chalecos de trabajo para ambientes agresivos, responden a la norma oficial mexicana NOM-015-STPS-2001, Condiciones

térmicas elevadas o abatidas-Condicionen de seguridad e higiene. Esta norma establece las condiciones de seguridad e higiene bajo las cuales los trabajadores pueden trabajar sin afectar su salud, así como los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de afectarlos. La normativa en mención, aplica en todos los centros de trabajo del México en los que exista exposición de los trabajadores a condiciones térmicas, provocadas por fuentes que generen que la temperatura corporal de los trabajadores sea inferior a 36°C o superior a 38°C. La tabla 2.7.1 ejemplifica el gasto metabólico que requieren ciertas actividades.

Tabla 2.7.1.

*Definición del régimen de trabajo según la actividad*

Régimen de trabajo	Actividad	Ejemplo de gasto metabólico aproximado	
		watts	Kcal/h
<b>Ligero</b>	Sentarse tranquilamente	116.18	100
	Sentarse, movimiento moderado de los brazos y el tronco (por ejemplo, trabajo de oficina, mecanografía)	130.81 a 162.21	112.5 a 139.5
	Sentado, movimientos moderados de los brazos y el tronco (por ejemplo, tocando el órgano o conduciendo un automóvil)	159.88 a 188.95	137.5 a 162.5
	Parado, trabajo moderado en máquinas o bancos de máquinas, mayormente con las manos	159.88 a 188.95	137.5 a 162.5
	Parado, trabajo liviano en máquinas o banco, a veces caminando un poco	188.95 a 218.02	162.5 a 187.5
	Sentado, movimientos pesados de los brazos y piernas	188.95 a 232.56	162.5 a 200.0
<b>Moderado</b>	Parado, trabajo moderado en máquina o banco a veces caminando un poco	218.02 a 290.69	187.5 a 250.0
	Caminando de un sitio a otro empujando y levantando moderadamente	290.69 a 406.97	250.0 a 350.0
<b>Pesado</b>	Levantando, empujando o tirando cargas pesadas, intermitentemente (por ejemplo, trabajo de pico y pala)	436.04 a 581.39	375.0 a 500.0
	Trabajo pesado constante	581.39 a 697.67	500.0 a 600.0

Fuente: NOM-015-STPS-2001

La Nota Técnica de Prevención 769 española emitida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2007), especifica que:

“La ropa debe diseñarse de tal manera que se facilite su correcta colocación y su permanencia, en las condiciones previstas de uso, teniendo en cuenta los movimientos y posturas que el usuario puede adoptar durante la realización del trabajo. Esta afirmación genérica implica que el usuario debe conocer, comprender y seguir estrictamente las instrucciones de uso establecidas por el fabricante de la prenda en cuestión. Sólo de esta manera se puede garantizar la protección declarada. Para ello el fabricante deberá comercializar la ropa con unas instrucciones claras, concisas y comprensibles. Los diseños que podemos encontrar en la ropa de protección son muy numerosos y vendrán influenciados por los materiales utilizados en su fabricación, así como para el tipo de aplicación para la que está pensada. En general, la ropa debe tener un diseño tal que se pueda garantizar que ninguna parte del cuerpo queda al descubierto como consecuencia de los movimientos que pueda realizar el usuario en el desarrollo de su tarea como, por ejemplo, parte inferior de la espalda al descubierto como consecuencia de la flexión del tronco. Habrá situaciones en las que la ropa debe ser utilizada junto con otros equipos de protección y, en estos casos, el solapamiento entre mangas y guantes, perneras y zapatos o capuces y equipos respiratorios, debe ser tal que garantice un nivel de protección global adecuado. Se deben establecer unos requisitos mínimos de resistencia mecánica de los materiales con los que se ha fabricado la prenda. Los valores exigidos dependerán del tipo de protección. Durante el diseño y construcción de la ropa debe tenerse en cuenta que el usuario debe llevarla y que ésta debe ser cómoda. El nivel de comodidad dependerá del riesgo contra el que protege, de las condiciones ambientales en las que se use la prenda, del nivel de actividad de usuario y del tiempo de uso previsto. En general se considera que la ropa no debe: tener superficies o bordes ásperos, afilados o duros que puedan irritar o dañar al usuario, ser tan estrecha que restrinja el flujo sanguíneo ni estar tan suelta o ser tan pesada que interfiera con los movimientos. Siempre que sea posible, la ropa de protección debe fabricarse con materiales que tengan baja resistencia al vapor de agua, alta permeabilidad al aire o bien estar suficientemente ventilada para minimizar la falta de confort debida al estrés térmico. Sin embargo, hay situaciones en las que la necesidad de proporcionar una protección determinada impone una carga ergonómica significativa. En estos casos, la información que acompaña a la ropa debe contener las correspondientes advertencias, así como una limitación en el tiempo de uso. En las correspondientes normas de ropa de protección específica se indican requisitos de diseño adicionales necesarios a fin de asegurar la adecuada protección en las condiciones previstas de uso”.



## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Diagrama**

El desarrollo experimental se realizó en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-Oaxaca-IPN), en la Universidad Autónoma Benito Juárez Oaxaca (UABJO) y en panaderías oaxaqueñas de la región de Valles Centrales. Este trabajo se dividió en cinco fases como se muestra en el diagrama de la figura 3.1.1.

Los materiales de cambio de fase utilizados fueron aceite de coco virgen, aceite de coco refinado, aceite de coco cosmético, aceite de corozo, aceite de coco hidrogenado y manteca de cacao.

### IMPLEMENTACIÓN DE PCM ORGÁNICO EN CHALECO DE TRABAJO

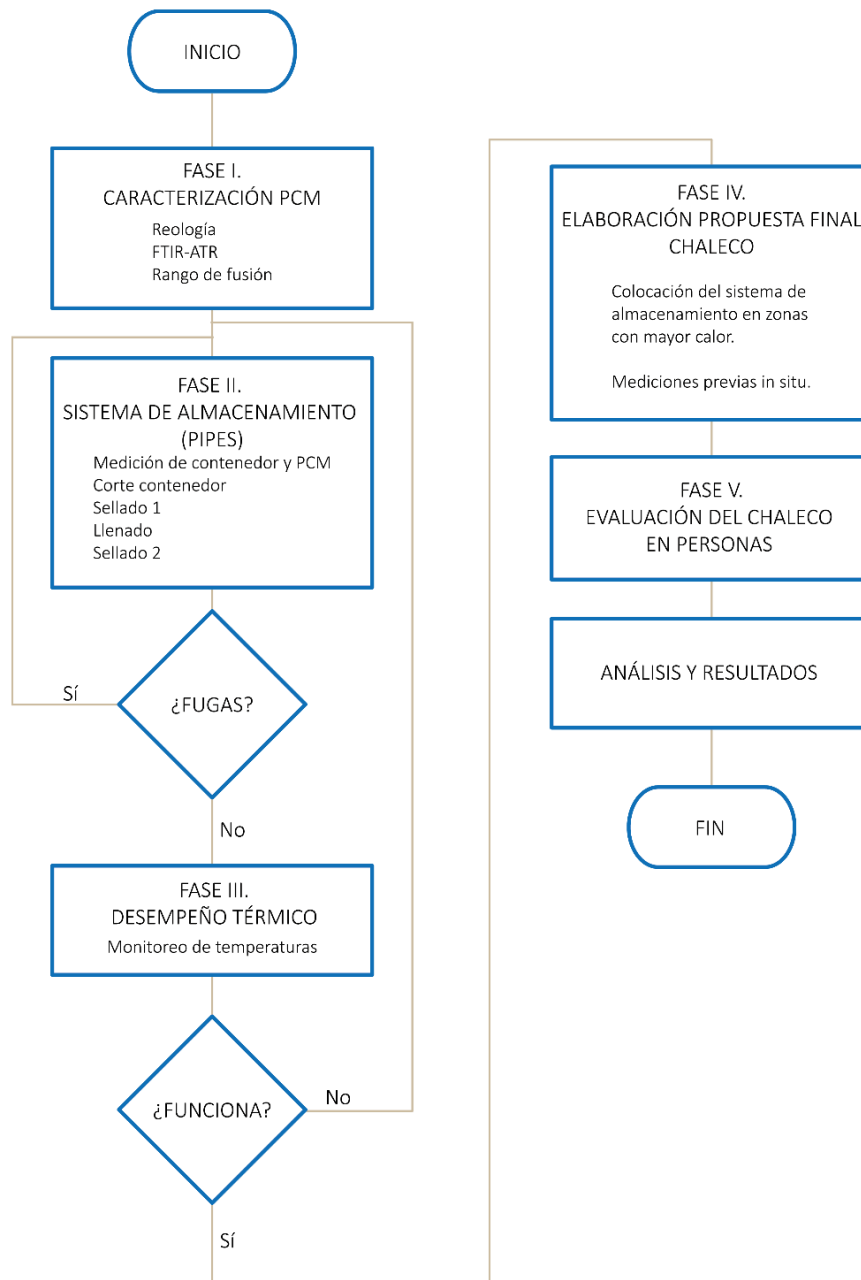


Fig. 3.1. 1. Diagrama de flujo de la metodología de trabajo.

### **3.2. Descripción**

Fase I: Caracterización de los materiales (aceites orgánicos) de cambio de fase a utilizar. Se llevó a cabo mediante pruebas reológicas, de análisis de espectro infrarrojo de transformación de Fourier de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) y pruebas termoanalíticas (rango de fusión).

Fase II: Consistió en la elaboración de pipes, es decir, de los tubos contenedores del PCM.

Fase III: Se caracterizaron los pipes mediante la agrupación de varios de ellos en un bolsillo de tela, los cuales se sometieron a calor para observar su comportamiento.

Fase IV: Consistió en la elaboración de un chaleco con el PCM seleccionado y en el censo de temperaturas en ambientes calurosos, en este caso en panaderías, ya que durante el horneado los panaderos se exponen a altas temperaturas.

Fase V: Se examinó el uso del chaleco en personas en ambientes calurosos, en este caso se evaluó en las panaderías monitoreadas en la fase IV.

## **CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **4.1. Fase I. Caracterización de aceites orgánicos**

En esta fase los aceites analizados inicialmente fueron aceite de coco virgen marca A, refinado marca Crisco y cosmético local (de izquierda a derecha respectivamente en la fig. 4.1.1). Los dos primeros fueron obtenidos en tiendas de conveniencia y el tercero es producto de un proceso artesanal. Como se describirá y explicará en los siguientes capítulos, el aceite de coco presentó amortiguamiento de temperaturas altas pero por corto tiempo. Una forma de lograr que el lapso sea mayor es aumentando la temperatura en que empieza a cambiar de estado, lo cual puede conseguirse mediante la hidrogenación, que

consiste en transformar el aceite en grasas sólidas mediante la adición de hidrógeno a altas presiones y temperaturas, y en presencia de un catalizador; es el método más utilizado para aumentar el punto de fusión a grasas alimentarias (Grompone, 1992). Debido a las características de punto de fusión o su uso, explicados anteriormente (CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO, 2.6.1. Aceites con cambio de fase, página 20), se utilizaron los aceites de coco hidrogenado obtenido de la marca Victoria Real, manteca de cacao marca Victoria Real y aceite de corozo marca Selvática (de izquierda a derecha respectivamente en la fig. 4.1.2) para continuar con las pruebas.



Fig. 4.1.1. Aceites iniciales. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.1.2. Aceites segunda parte. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1. Reología**

Para la obtención del cambio de fase de los aceites, se realizaron barridos de temperatura, para cada aceite se realizaron 3 repeticiones. El equipo utilizado fue un reómetro Anton Paar PHYSICA MCR 301, para cada prueba se utilizaron 0.57 mL de aceite que fue colocado en el equipo con una geometría cono-plato previamente seleccionada. Con los primeros aceites se realizó un barrido de temperatura en pruebas de cortante rotacional,

monitoreando la viscosidad aparente del aceite. Con el segundo grupo de aceites, se realizó un barrido de temperatura mediante pruebas de corte dinámico (o pruebas de oscilación), para evitar, hasta cierto punto, el calentamiento de la muestra generado por el movimiento del reómetro (Fig. 4.1.1.1).



Fig. 4.1.1.1. Colocación de PCM en reómetro. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.2. FTIR-ATR**

Las pruebas de FTIR-ATR se realizaron con un espectrómetro NICOLET 67000, realizándose dos repeticiones por cada aceite. El procedimiento consistió en colocar unas gotas sobre un cristal de diamante de 5 mm de diámetro en el equipo (Fig. 4.1.2.1). El rango de medición fue de  $-4000$  a  $-649.9$   $\text{cm}^{-1}$  y se realizaron 96 escaneos.



Fig. 4.1.2.1. Colocación del PCM en el equipo de FTIR-ATR. Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. Termoanálisis // Rango de fusión

Se realizó una prueba de rango de fusión utilizando el equipo Fisher-Johns, el procedimiento consistió en colocar una muestra pequeña del material en un cubreobjetos en el plato del equipo, la cual se calienta y se registró la temperatura inicial y la temperatura al momento de fundirse (Fig. 4.1.3.1).



Fig. 4.1.3.1. Equipo para obtener rango de fusión. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Fase II. Elaboración de pipes

Se elaboraron los pipes, cuidando de que no presentara fugas del material y que el área fuera similar. Los pipes se elaboraron utilizando plástico polietileno de 12 cm de largo, los cuales fueron sellados de un lado, posteriormente se les agregó 3.5 mL del aceite y se selló el lado opuesto (Fig. 4.2.1). La masa total de cada pipe fue de 4 g c/u. El sellado de los paquetes fue manual, mediante calor suministrado a los extremos.

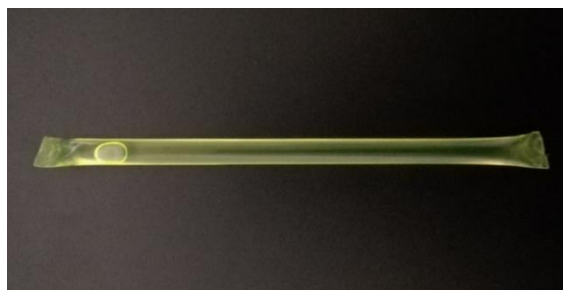


Fig. 4.2.1. Pipe elaborado. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Fase III. Caracterización de pipes

Para la evaluación del desempeño térmico de los pipes, éstos fueron colocados en un aditamento de tela de 13cm x 30cm, denominado módulo y se colocaron en posición vertical (Fig. 4.3.1). Posteriormente se colocaron los termopares en la parte interna y en la parte externa del módulo, se evaluaron las temperaturas registradas en la parte interior y exterior del módulo durante diferentes intervalos de tiempo. Para el registro de datos se utilizó el software HOBOWare, termopares del tipo T (TMC6-HD Smart sensors con rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ ) y data logger 12-bit HOB012.



Fig. 4.3.1. Módulo. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1. Desempeño térmico con pipes al medio ambiente

Se realizó la prueba de desempeño térmico a temperatura ambiente en el módulo del chaleco con pipes de aceite de coco refinado durante una noche hasta el día siguiente con un total de 15 horas. Las temperaturas se registraron cada 10 segundos durante 15 horas utilizando seis termopares. La prueba consistió en colocar los sensores en el chaleco con aceite de coco (Fig. 4.3.1.1), tres en la parte interna y tres en la parte externa, con cuidado que estuvieran ubicados a la misma altura. Se aisló la parte interna del chaleco con unicel y la parte externa quedó a la intemperie (Fig. 4.3.1.2). Se inició el registro con una temperatura ambiental de  $26.7^{\circ}\text{C}$ .



Fig. 4.3.1.1. Colocación termopares en el módulo del chaleco. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.3.1.2. Módulo del chaleco a la intemperie. Fuente: Elaboración propia.

#### ***4.3.2. Desempeño térmico con pipes en cámaras***

Los materiales seleccionados para realizar pruebas de desempeño térmico fueron aceite de coco hidrogenado y manteca de cacao, por ello se elaboraron los módulos de pipes con ellos, así como cámaras aisladas, donde el calor fue proporcionado por focos. Las cámaras fueron elaboradas de triplay, con medidas de 60cm x 60cm x 60cm, se elaboraron 3 de ellas, así como una base para las mismas (Fig. 4.3.2.1 A). Las cajas fueron aisladas con poliestireno expandido para controlar su temperatura interior (Fig. 4.3.2.1 B). En la figura 4.3.2.1 C se observa la colocación de las cajas, así como la ubicación de los focos que inciden el calor a ésta. También se censaron un módulo de agua destilada, la tela del módulo y poliestireno expandido.





Fig. 4.3.2.1. Cámaras para mediciones térmicas. Fuente: Elaboración propia.

Los módulos de pipes también se aislaron dentro de las cajas y se colocaron 2 termopares, arriba y debajo de ellos en cada uno. En la figura 4.3.2.2 de izquierda a derecha se observa el módulo de solo tela, módulo con aceite de coco hidrogenado y módulo con manteca de cacao respectivamente. La parte inferior estuvo expuesta directamente al foco, la parte superior fue la más alejada al foco. El experimento se realizó con focos de 60 W por 24 horas para la tela utilizada para la elaboración de los módulos,

para los módulos de PCMs se utilizó un foco de 23 W con mediciones a cada minuto por 48 horas. Las primeras 24 horas se mantuvo el foco encendido y las siguientes 24 horas se apagó el foco.

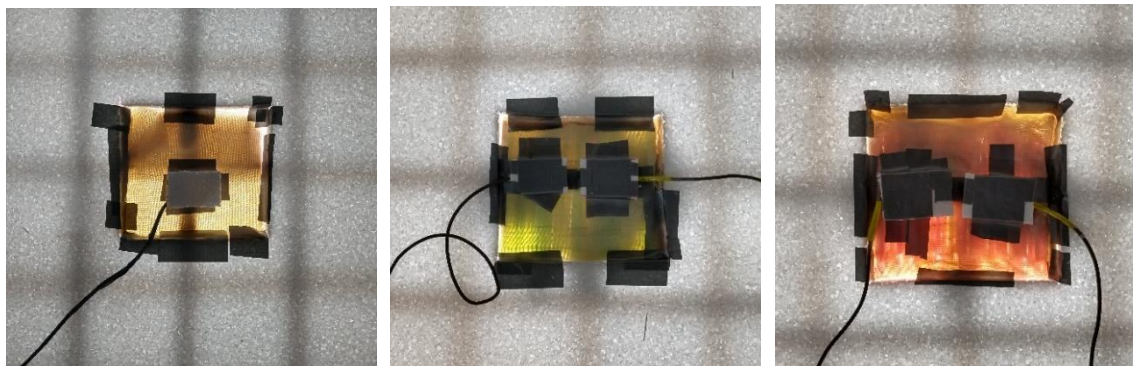


Fig. 4.3.2.2. Módulos censados. Fuente: Elaboración propia.

Los materiales utilizados fueron módulos de tela, de pipes de agua destilada, de pipes de aceite de coco hidrogenado, de pipes de manteca de cacao y poliestireno expandido (Tabla 4.3.2.1). Las masas de los módulos con pipes fueron similares a las que tenía un paquete de PCM utilizado por Itani et al. (2017), donde un paquete pesaba 87 g.

Tabla 4.3.2.1.

*Materiales en cámaras.*

TIPO	NÚMERO DE PIPES	MEDIDAS (cm)	MASA (g)
TELA	0	17 x 16.7 x 0.3	28
AGUA DESTILADA	45	17 x 16.7 x 2	188
ACEITE DE COCO HIDROGENADO	45	17 x 16.3 x 2	175
MANTECA DE CACAO	45	15.5 x 16 x 2	154
POLIESTIRENO EXPANDIDO	-	50 x 50 x 2.5	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Fase IV. Propuesta de chaleco

Los módulos de pipes con resultados óptimos se colocaron en un chaleco de trabajo en las zonas que presentan mayor calor en el cuerpo (Fig. 4.4.1), siendo la parte inferior, superior, frontal y posterior del torso (pecho, abdomen, espalda baja y superior. El chaleco de trabajo propuesto requiere de 4 módulos, uno en la espalda superior, uno en la espalda inferior, uno en el pecho y otro en el abdomen. La tela recomendable para el chaleco es de algodón o 50% algodón y 50% poliéster, ya que permite la respiración de la piel.



Fig. 4.4.1. Zonas donde se presenta mayor sudoración en el cuerpo ubicadas en el chaleco. Fuente: Elaboración propia.

##### 4.4.1. Elaboración del chaleco

Para su elaboración, se utilizó un chaleco para trabajo de tela ripstop y se le colocaron, en la parte interna del chaleco, seis módulos PCM (Fig. 3.4.1.1), los módulos del frente fueron de 13cm x 15cm y los módulos de la espalda de 15cm x 35cm; se colocaron en las zonas donde se presenta mayor sudoración. Se tomó en cuenta la norma oficial mexicana NOM-015-STPS-2001, condiciones térmicas elevadas o abatidas-condiciones de seguridad e higiene.

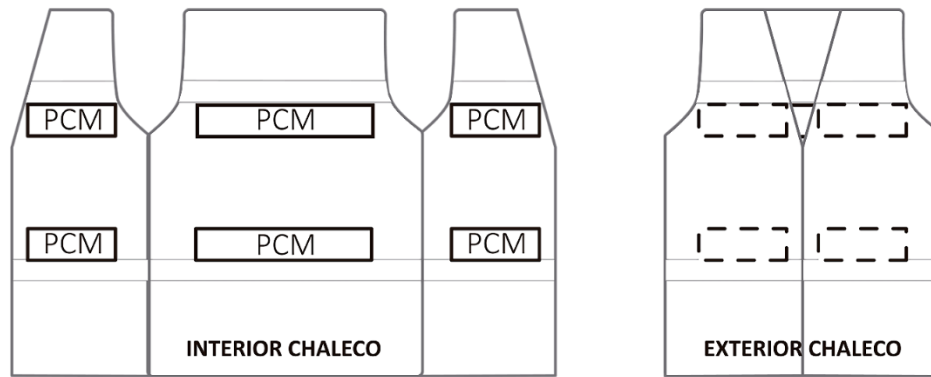


Fig. 4.4.1.1. Chaleco integrando módulos PCM. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Mediciones en panadería

Para que el chaleco empiece a trabajar se requieren temperaturas mayores a  $30^{\circ}\text{C}$  para poder utilizar los materiales de cambio de fase propuestos. Por lo cual se eligieron panaderías para la evaluación de la prenda, porque los panaderos se exponen a altas temperaturas durante el horneado, dependiendo de ciertos factores como el lugar y la cantidad del trabajo; razones por las cuales se realizaron mediciones de temperatura en el área de trabajo de cuatro panaderías de Valles Centrales de Oaxaca.

En el lugar 1 utilizan un horno semi industrial, cuenta con dos niveles o parrillas y el tiempo que le dedican al horneado es de dos horas generalmente. Al observar el área de trabajo y el proceso de la elaboración del pan, se decidió colocar cuatro sensores en el área de cocina para monitorear las temperaturas que se alcanzan: el sensor uno se colocó en el pasillo donde van de la mesa de trabajo al horno y a 70cm del piso, el sensor dos se colocó a 40cm del lado izquierdo del horno y a una altura de 1.42m, el sensor tres se colocó a 1.56m desde el piso, quedando al nivel de la parrilla superior del horno y el sensor cuatro se colocó en la mesa de trabajo a 1.40m del piso (fig. 4.4.2.1). Se monitoreó el área del horno por cinco días, con mediciones a cada minuto, tomando en cuenta las dos horas de horneado. En el lugar 2 utilizan un horno industrial que cuenta con tres niveles o parrillas

y hornean en la mañana, medio día y tarde, pero actualmente no trabajan diariamente y el tiempo de uso del horno depende de la cantidad de pedidos que tengan, siendo un mínimo dos horas. Al observar el área de trabajo y el proceso de la elaboración del pan, se decidió colocar dos sensores, el uno en la mesa de colocación, a 70cm del piso en el lado izquierdo del horno y el sensor dos en el costado izquierdo del del horno, a 1.60m del piso (Fig. 4.4.2.2), se monitoreó por 29 días y se tomaron en cuenta las mediciones de los cinco días más trabajados. En el lugar 3 utilizan un horno industrial de seis columnpios, donde cada columnpio tiene capacidad de 30 charolas; actualmente hornean por cinco horas aproximadamente. Se colocaron dos sensores, uno al lado derecho del horno a 1.20m del piso y otro enfrente de éste, donde además está colocada la mesa de traslado del pan al horno, a 42cm del horno (Fig. 4.4.2.3) y se monitoreó por tres días. En el lugar 4 utilizan un horno de leña con capacidad de 14 charolas, el tiempo de horneado es de una y media hora a dos y media horas. En esta panadería se colocaron dos sensores, el sensor uno se colocó en la pared izquierda del horno a 1.50m del piso y el sensor dos en la mesa de colocación bajo la puerta del horno, a 50 cm del piso. (fig. 4.4.2.4) y se monitoreó el área por cinco días.



Fig. 4.4.2.1. Área de panadería 1. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.4.2.2. Área de panadería 2. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.4.2.3. Área de panadería 3. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.4.2.4. Área de panadería 4. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Fase V. Evaluación

De las cuatro panaderías monitoreadas, se trabajó en la número 4, debido a las temperaturas alcanzadas cerca del horno. En la panadería 4 se inicia a trabajar en la mañana (5 a.m.) para preparar la masa y esto es realizado por una persona, a las 7 a.m. empiezan a trabajar 3 panaderos, cada uno con su respectivo tipo de pan (pan dulce tradicional, bolillo y repostería, mantecadas) (Fig. 4.5.1), a las 9 a.m. se prepara el horno, es decir se le agrega la leña seca, en este caso de encino, para quemarla dentro y calentar el mismo (Fig. 4.5.2 A), pasadas dos horas y media o el tiempo que tarde en calentarse, se retiran las cenizas (Fig. 4.5.2 B), se mueven las brasas hacia el costado y se cubren con ladrillos y láminas (Fig. 4.5.2 C) y se limpia el piso del horno (Fig. 4.5.2 D).



Fig. 4.5.1. Elaboración del pan. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.5.2. Preparación del horno. Fuente: Elaboración propia.

Aproximadamente entre 11:40 a.m. a 1:20 p.m. se hornea el pan, a las 2 p.m. se rellenan los panes que lo requieran, se embala el pan y por la tarde (3 p.m. en adelante) se lleva a vender. Durante el horneado solo una persona es la encargada de hornear, mientras que otra persona le acerca las charolas para introducir al horno y se las retira cuando el pan está listo, esto se hace cuando se hornean los panes que requieren las mayores temperaturas en su trabajo como son los bolillos, mantecadas, entre otros. Para hornear, quien hornea va girando las charolas de pan con ayuda de la pala de madera, mientras que el auxiliar está atento a cuando deba retirar las charolas listas ya sea tomándolas directamente de la pala o de la mesa (Fig. 4.5.3), éste también realiza las preparaciones previas requeridas en los panes crudos y se puede marchar cuando se inician a hornear los panes de menores temperaturas, ya que la persona que hornea se puede quedar sola trabajando, debido a que le da tiempo de maniobrar las charolas. Estos panes de menores



temperaturas, requieren de mayor tiempo dentro del horno y durante ese periodo la persona que hornea puede dar los acabados a los panes, como agregar azúcar o ajonjolí (Fig. 4.5.4). Estos horarios se fueron ajustando a la *nueva normalidad*, ya que por la pandemia su ritmo de trabajo tuvo y tiene cambios.



Fig. 4.5.3. Horneado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.5.4. Actividades complementarias durante el horneado. Fuente: Elaboración propia.

#### ***4.5.1. Diseño de experimento en personas***

Para analizar el efecto del chaleco con PCMs en las personas se elaboró el siguiente experimento: Con base en el trabajo de Chuansi Gao, Kalev Kuklane e Ingvar Holmér (2011) donde mediante una rutina de ejercicio evaluaron el uso de una prenda de enfriamiento en humanos (estudiada anteriormente en un maniquí térmico) en condiciones de calor extremo y en el trabajo de Wen Yi et al. (2017), donde examinaron y compararon la efectividad de un nuevo diseño chaleco de enfriamiento, simulando en una cámara

climática el ambiente de trabajo típico de verano de los sitios de construcción en Hong Kong, mediante un protocolo de ejercicio que incluyó 30 minutos de descanso previo al ejercicio, ejercicio y recuperación posterior al ejercicio, la evaluación del chaleco propuesto se ajustó para el proceso de elaboración del pan, donde se monitorearon las temperaturas del panadero y del chaleco PCM.

La duración experimento se planteó de dos horas aproximadamente, ajustándose al tiempo requerido en la panadería, más 30 a 40 minutos adicionales para la toma de signos vitales y aplicación de encuesta. Como primer paso, previamente se colocaron los sensores en el chaleco PCM, en la parte exterior de la prenda y en la interior al contacto con la persona. Los parámetros metabólicos que se tomaron en cuenta fueron temperatura, saturación de oxígeno ( $VO_2$ ), frecuencia cardiaca, peso y tensión arterial. Al finalizar el horneado se aplicó una encuesta para conocer la tasa de esfuerzo percibido.

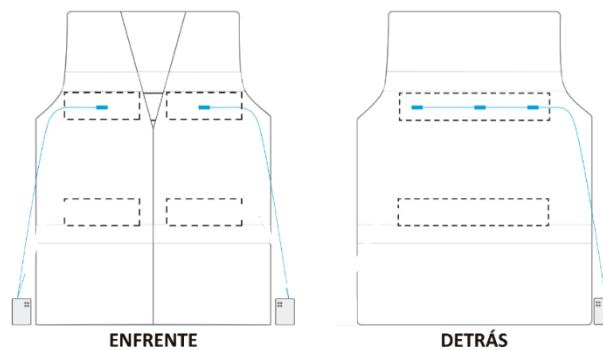


Fig. 4.5.1.1. Colocación de los termopares en el chaleco. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron 8 sensores del tipo T, (TMC6-HD Smart sensors con rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), que se conectaron a un sistema de recolector de datos (data loggers 12-bit HOBO12), termómetro, báscula, baumanómetro digital, oxímetro digital y el chaleco PCM. El procedimiento consistió en tomar los signos vitales del panadero antes de que empezara a hornear (Fig. 4.5.1.2), después se le colocó el chaleco con los sensores (Fig. 4.5.1.3) al panadero cuando ya estaba listo para hornear e inmediatamente se inició a

censar, anotando las actividades realizadas y el tiempo de duración, como el ingreso de charolas al horno, movimiento de las charolas dentro del horno, salida de charolas o actividades complementarias (Fig. 4.5.1.4). Cuando el panadero finalizó su trabajo, se le retiró el chaleco, se le tomaron los signos vitales nuevamente y se le aplicó la encuesta (ver ANEXOS, B. Fase V, página). Este procedimiento se repitió 3 veces por PCM (Tabla 4.5.1).

Tabla 4.5.1.

*Diseño experimental chaleco*

TRATAMIENTO		NIVEL DEL FACTOR MATERIAL	
1		Sin PCM	
2		Aceite de coco virgen	
3		Aceite de coco hidrogenado	
	Repeticiones	3	
	Tratamientos	3	
	Total de experimentos	9	

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.5.1.2. Toma de signos vitales de la persona que utilizó el chaleco PCM. Fuente: Elaboración propia.



*Fig. 4.5.1.3.* Panadero vistiendo el chaleco PCM. Fuente: Elaboración propia.



*Fig. 4.5.1.4.* Actividades durante el horneado con el chaleco PCM puesto en el panadero. Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Fase I. Caracterización de aceites

#### 5.1.1. Reología

De las pruebas reológicas realizadas en aceites de coco virgen, refinado y cosmético, los datos obtenidos se promediaron y se graficaron (Fig. 5.1.1.1), observándose que la temperatura en la que la viscosidad cambia notoriamente es a 19°C para el aceite de coco virgen, a 21°C para el aceite de coco refinado y 15°C para el aceite cosmético, es decir, a estas temperaturas los aceites de coco empiezan a cambiar de estado.

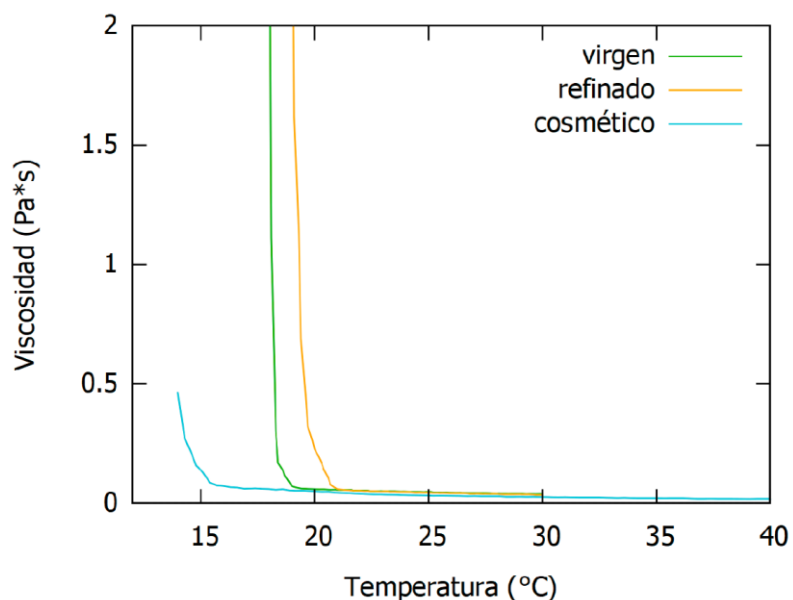


Fig. 5.1.1.1. Barrido de temperatura en aceites de coco. Fuente: Elaboración propia.

De la prueba de oscilación realizada en el aceite de coco hidrogenado, manteca de cacao y aceite de corozo, se observa en la figura 5.1.1.2 el barrido de temperatura del aceite de corozo, a los 19°C empiezan a bajar y estabilizarse las temperaturas y a los 23°C las mediciones empezaron a ser constantes, indicando el cambio de estado. En la fig. 5.1.1.3 se muestra el barrido de temperatura de manteca de cacao, su cambio de estado empezó a los 23.5 °C. En la fig. 5.1.1.4 se muestra el barrido de temperatura de aceite de

coco hidrogenado. Las mediciones empezaron a ser constantes a los 4°C, entre los 29°C a 40°C los puntos van homogeneizándose, mostrando “picos” que indican puntos de transición de fase (29°C a 34°C, 34°C a 36°C y a 41°C).

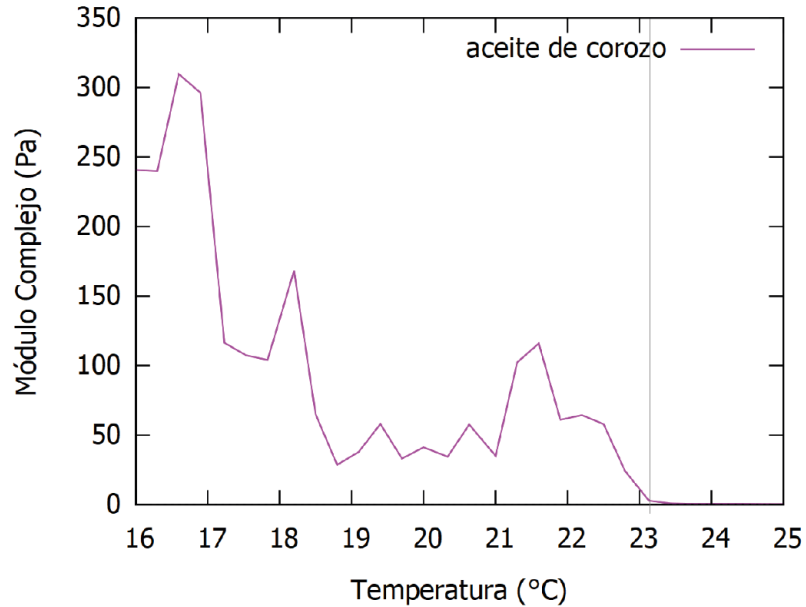


Fig. 5.1.1.2. Barrido de temperatura de aceite de corozo. Fuente: Elaboración propia.

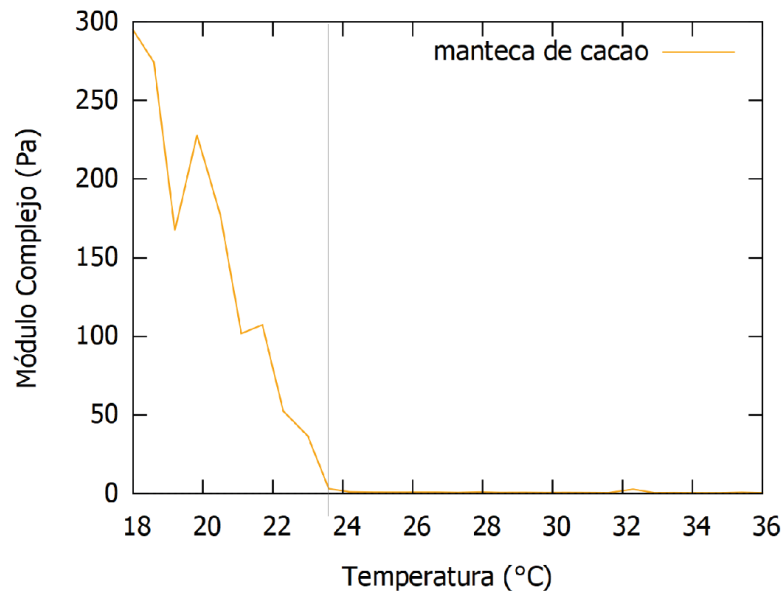


Fig. 5.1.1.3. Barrido de temperatura de manteca de cacao. Fuente: Elaboración propia.

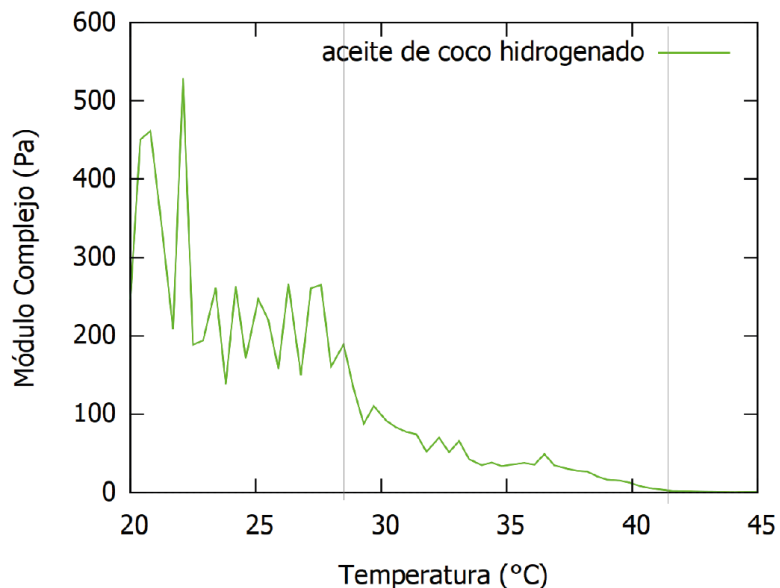


Fig. 5.1.1.4. Barrido de temperatura de aceite de coco hidrogenado. Fuente: Elaboración propia.

De esta etapa se notó que el aceite de corozo tiene una temperatura de cambio de fase similar al aceite de coco refinado, por lo que en esas condiciones su desempeño térmico sería similar, es decir, se presentaría un amortiguamiento térmico pero por poco tiempo. Por lo que, para aumentar la temperatura de cambio de estado, el aceite de corozo y aceite de coco requieren de una operación de modificación, como lo es la hidrogenación. El aceite de coco hidrogenado presenta un rango de temperaturas entre 29 °C a 40 °C, que cubre a la temperatura de confort requerida del cuerpo en condiciones de ambientes térmicamente agresivos (37 °C).

### 5.1.2. FTIR-ATR

De las pruebas de FTIR-ATR, los datos obtenidos se graficaron (Fig. 5.1.2.1) y se observó que los espectros del aceite de coco virgen y refinado muestran valores casi idénticos, mostrándose ésteres como su grupo funcional, ya que se observaron en los tres espectros bandas características de los ésteres a 1750 y 1200. El espectro también indicó cuál tiene una mayor temperatura de cambio de fase, ya que entre más pronunciado esté, coincide con tener el mayor punto de fusión.

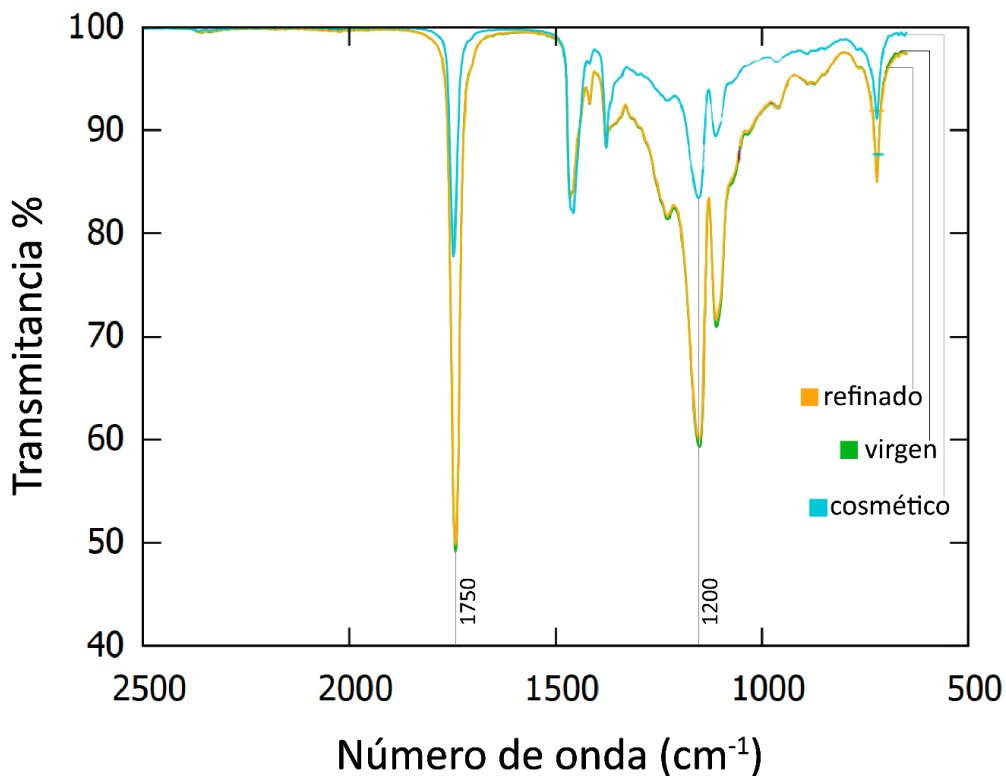


Fig. 5.1.2.1. Espectros del aceite de coco virgen, refinado y cosmético. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. Rango de fusión

En esta prueba se obtuvo el punto de fusión mediante la temperatura inicial (en estado sólido) y la temperatura final (líquido). Este punto de fusión (temperatura “real”) obtenida de los cálculos realizados, es en la cual se encuentra en equilibrio la parte sólida y líquida y se obtuvo que la manteca de cacao presenta el punto de fusión más alto de los aceites analizados, con 36.62°C (tabla 5.3.1.1), seguido del aceite de coco hidrogenado y el virgen con 30.28°C. Estas temperaturas son adecuadas para su uso en trabajos con condiciones térmicas altas.



Tabla 5.1.3.1.

*Rango de fusión de PCMs orgánicos*

<b>MATERIAL</b>	<b>TEMPERATURA REAL (°C)</b>
Aceite de coco virgen	30.28
Aceite de coco refinado	29.22
Aceite de coco cosmético	29.22
Aceite de coco hidrogenado	30.28
Aceite de corozo	29.22
Manteca de cacao	36.62

Fuente: Elaboración propia.

## **5.2. Fase III. Caracterización de pipes**

### **5.2.1. Desempeño térmico con pipes al medioambiente**

Durante la noche las temperaturas externas del módulo fueron 2°C menores a las temperaturas internas y éstas fueron cercanas a las ambientales (1°C), mientras que hasta las 12:30 p.m. a 25°C, se invirtieron los resultados, con una diferencia de 2°C a 3°C entre las temperaturas ambiente y externas. Las temperaturas internas del chaleco fueron 2.5°C (aproximadamente) menores a las ambientales (Fig. 5.2.1.1) hasta el mediodía. Después de esta hora, la temperatura ambiental fue menor que las censadas en el chaleco, siendo las temperaturas externas e internas más cercanas conforme pasaba el tiempo, esto debido a que el PCM llegó a su máxima capacidad de almacenamiento.

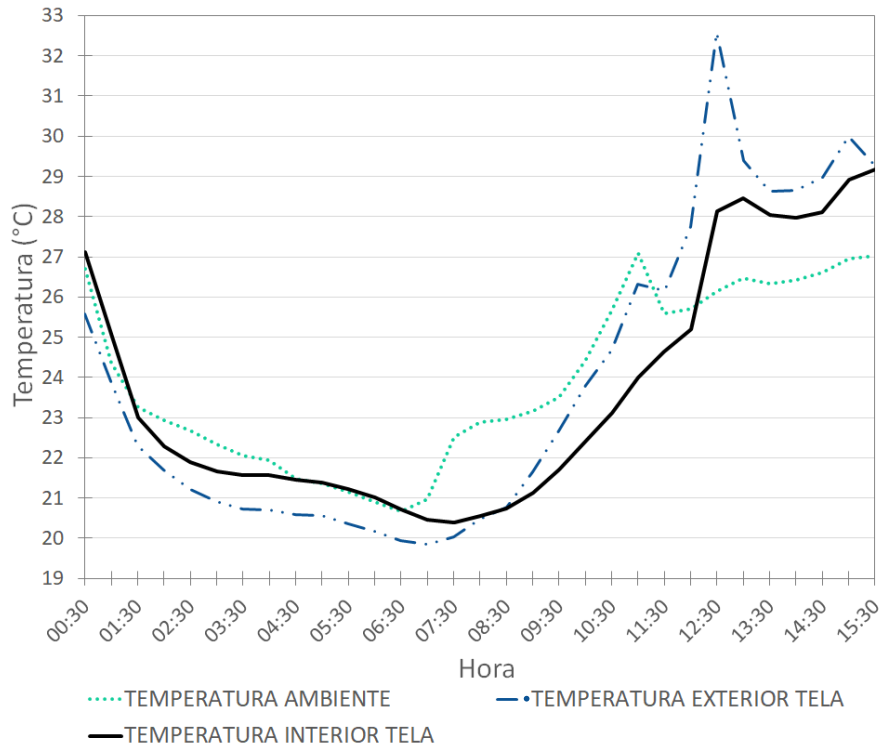


Fig. 5.2.1.1. Desempeño térmico al medio ambiente del módulo PCM de aceite de coco refinado. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos indican una posible aplicación para trabajos en ambiente cálido y actividad moderada como los mostrados por Itani et al. (2017), debido a que el aceite de coco sí retarda el calentamiento respecto al exterior por un corto tiempo, con una diferencia de temperatura de entre 1°C a 7°C. Su uso para una actividad térmicamente agresiva requiere de aumentar el almacenamiento de calor del aceite de coco o la utilización de otro material de cambio de fase. Por lo que se buscaron otros materiales de cambio de fase: aceite de corozo, manteca de cacao y aceite de coco hidrogenado.

### 5.2.2. Desempeño térmico con pipes en cámaras

Se observaron las temperaturas registradas durante 6 horas de solo la tela del módulo, existiendo una diferencia menor de 1°C entre la parte más cercana al foco y la más lejana, de modo que la tela no brinda un amortiguamiento térmico significativo (Fig. 5.2.2.1). Por lo tanto, su uso no afectará el funcionamiento del chaleco ni brindará un amortiguamiento adicional. El desempeño

térmico del módulo de agua destilada se observa en la figura 5.2.2.2, por 48 horas, a cada minuto, se monitorearon las temperaturas de la parte interna y externa del material, presentándose una diferencia de  $5.2^{\circ}\text{C}$ . El desempeño térmico del módulo aceite de coco hidrogenado mostró una diferencia máxima de  $4.06^{\circ}\text{C}$  por 7.32 horas (Fig. 5.2.2.3). En el desempeño térmico del módulo de la manteca de cacao se observó una diferencia de hasta  $4.38^{\circ}\text{C}$  por 7.13 horas (Fig. 5.2.2.4). El desempeño térmico del poliestireno expandido mostró una diferencia de  $11.8^{\circ}\text{C}$  (Fig. 5.2.2.5).

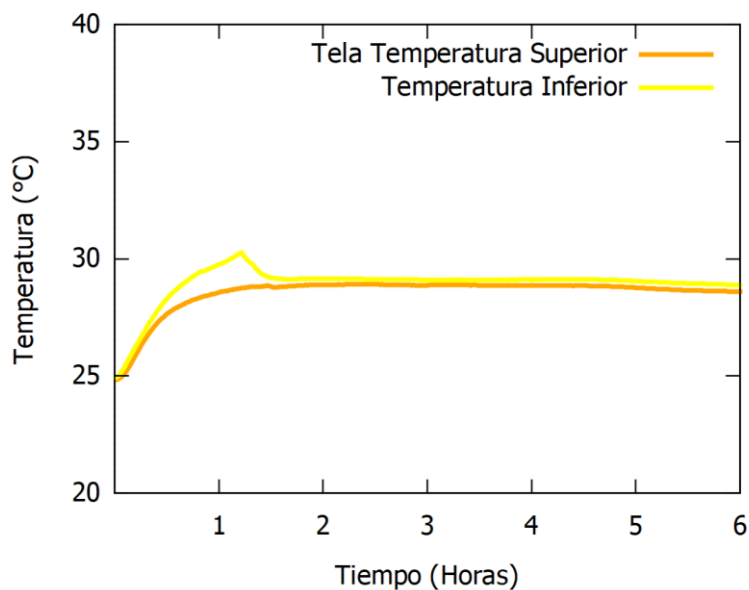


Fig. 5.2.2.1. Desempeño térmico tela. Fuente: Elaboración propia.

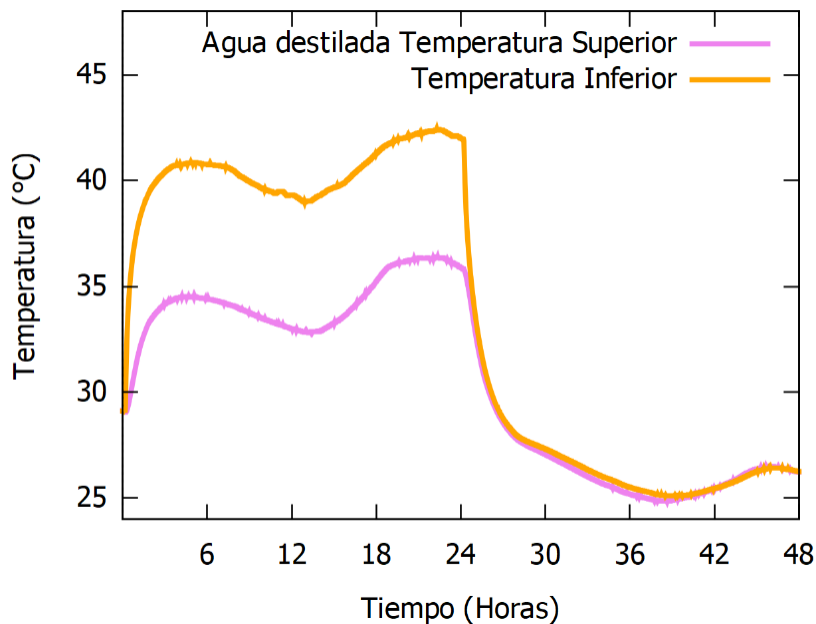


Fig. 5.2.2.2. Desempeño térmico del módulo de agua destilada. Fuente: Elaboración propia.

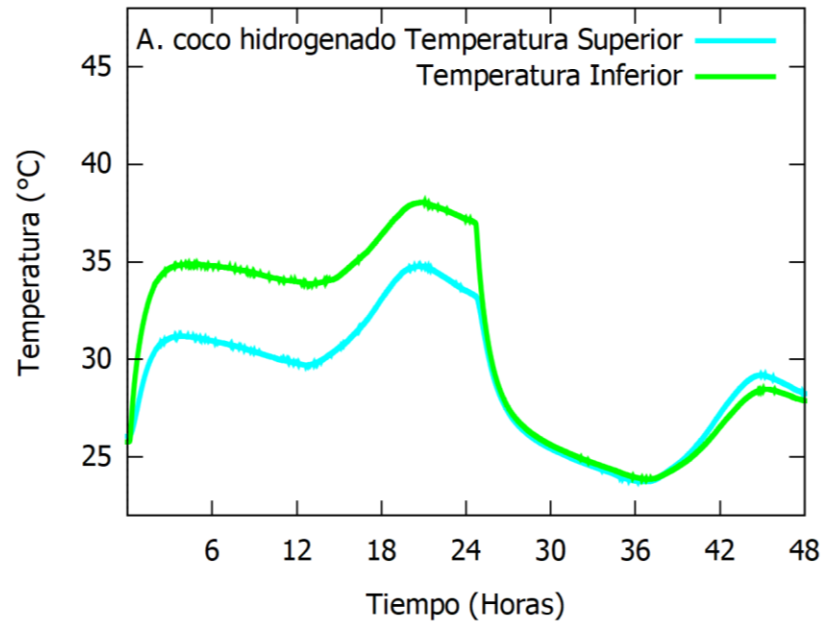


Fig. 5.2.2.3. Desempeño térmico del módulo de aceite de coco hidrogenado. Fuente: Elaboración propia.

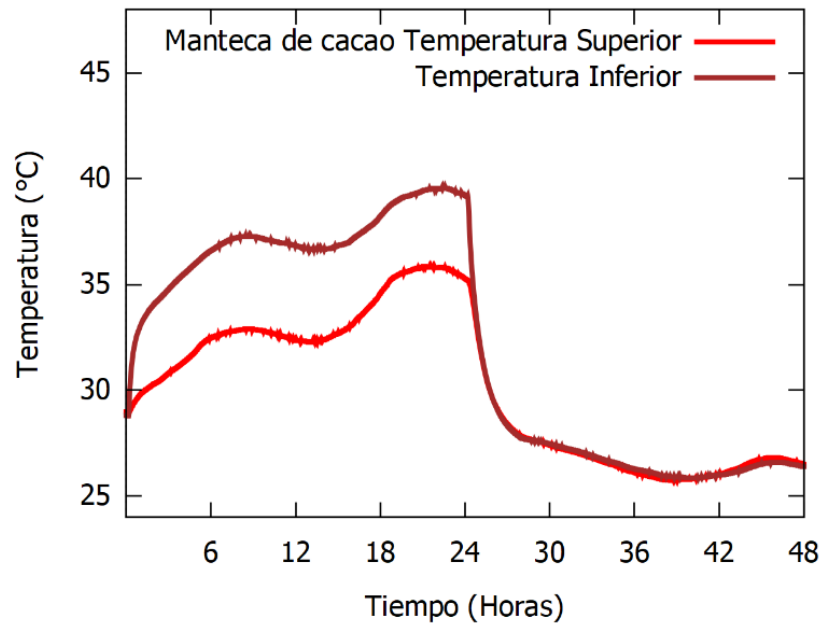


Fig. 5.2.2.4. Desempeño térmico del módulo de manteca de cacao. Fuente: Elaboración propia.

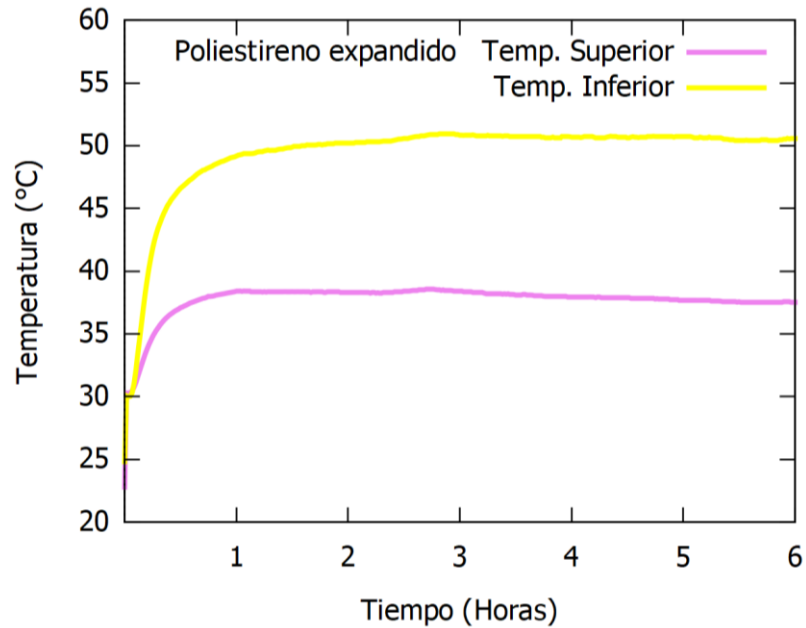


Fig. 5.2.2.5. Desempeño térmico de poliestireno expandido. Fuente: Elaboración propia.

El módulo de aceite de coco hidrogenado alcanzó una diferencia de temperaturas de hasta  $4.06^{\circ}\text{C}$ , respecto al módulo elaborado con manteca de cacao éste presentó una diferencia de  $4.38^{\circ}\text{C}$ . Al comparar estos materiales se puede observar que los PCMs orgánicos presentan un amortiguamiento medio, esto se debe a dos factores: la cantidad de material y su capacidad de almacenar calor. Las gráficas muestran si el material está almacenando calor o no. En la gráfica del poliestireno expandido se observa que al inicio la temperatura es creciente (pendiente positiva) pero a partir del minuto 33 las temperaturas de la parte cercana y alejada del foco del unicel alcanzan su máximo (pendientes cercanas a cero) y ya no presenta cambios en su pendiente, esto indica que el poliestireno expandido no está guardando calor. En el módulo de aceite de coco hidrogenado la pendiente va en aumento, mostrando el calor sensible del material y llega un momento en el minuto 20 en el que la curva se pone recta (pendiente cero), mostrando que se empieza a guardar calor por unos minutos, en el módulo de manteca de cacao esta pendiente cero, con forma de *meseta* es un poco más notoria entre el minuto 18 a 24, que

es cuando el foco sigue suministrando calor. Cuando se apaga el foco, el proceso es más lento, tardando el PCM mayor tiempo en *cargar* (almacenar calor) completamente. En los módulos de aceite de coco hidrogenado y manteca de cacao se está viendo el calor sensible y el calor latente en una pequeña parte. En el módulo de agua destilada se observa esta meseta de carga y descarga por corto tiempo.

### **5.3. Fase IV. Propuesta de chaleco y mediciones de lugar de trabajo**

#### **5.3.1. Mediciones en panadería**

De las mediciones realizadas en la panadería 1, la temperatura más alta que se alcanzó fue de 41°C en la zona del pasillo, este sensor estuvo colocado al frente del horno. En la zona superior del horno, donde el termopar estaba cercano a la parrilla superior, también se alcanzaron temperaturas mayores a 35°C y por un mayor lapso de tiempo. La temperatura promedio en el pasillo fue de 31.5°C, de 31.3°C al lado del horno, de 33.7°C en la parte superior y de 31.1°C en la mesa de trabajo. La mayor parte del tiempo (75 minutos) se trabaja con temperaturas mayores a 30°C (fig. 5.3.1.1). De las mediciones en la panadería 2, se tomaron en cuenta las mediciones presentadas en los cinco días más trabajados de los 29 días monitoreados (fig. 5.3.1.2). El tiempo de trabajo fue distinto, habiendo lapsos de 9 horas o de 13, por lo que se muestran las mediciones promedio presentadas durante 10 horas de trabajo. Durante el horneado se obtuvo un promedio de 30.9°C en el pasillo, 28.8°C en el lateral del horno y la temperatura más alta fue de 35.4°C en la zona del pasillo, donde el sensor se colocó al frente del horno. En la panadería 3, se tomaron en cuenta dos horas de horneado por día monitoreado (fig. 5.3.1.3), durante el horneado se obtuvieron temperaturas mayores a 28°C, un promedio de 29.1°C en el lateral cercano al

horno, de 35°C en la mesa frontal y las temperaturas más altas fueron de 34.9°C y 36.7°C. En la panadería 4, se tomaron en cuenta cuatro horas de horneado por día monitoreado (fig. 5.3.1.4) se obtuvo un promedio de 28.1°C en la mesa de trabajo, de 49.1°C en la pared del horno y la temperatura más alta fue de 52.7°C, en la zona de la pared del horno.

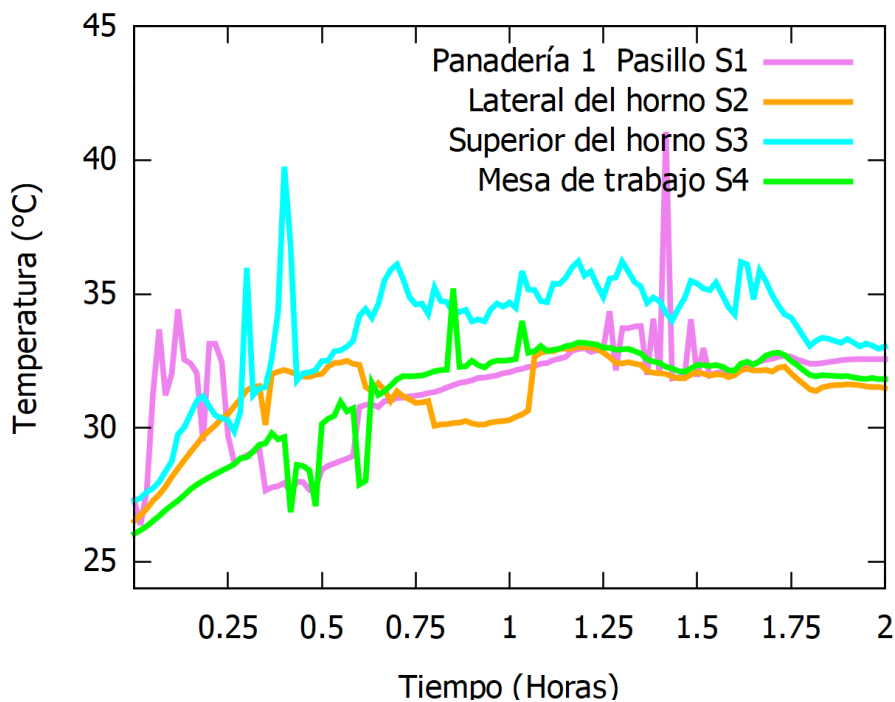


Fig. 5.3.1.1. Monitoreo de temperaturas en panadería 1. Fuente: Elaboración propia.

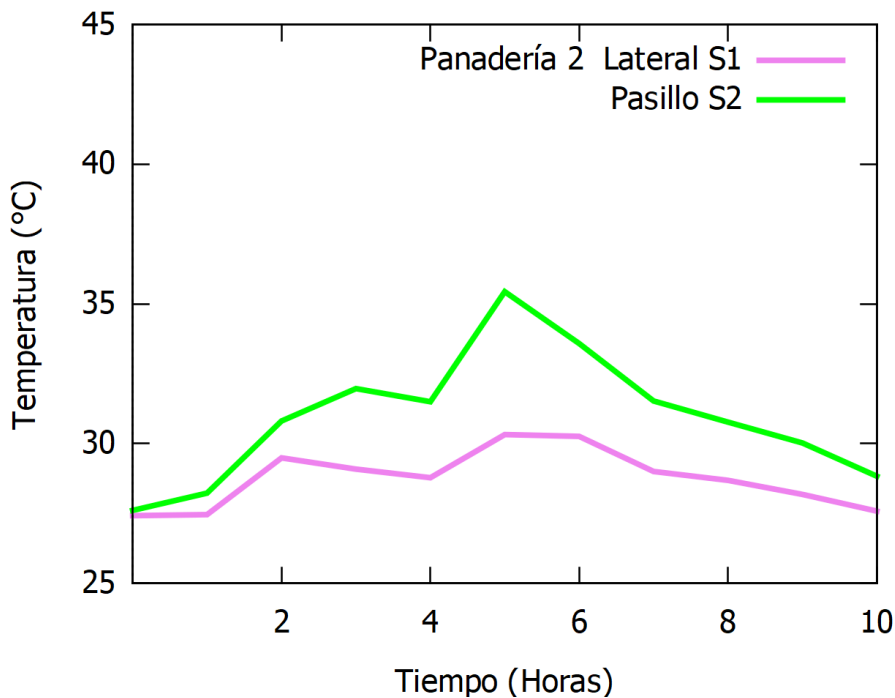


Fig. 5.3.1.2. Monitoreo de temperaturas en panadería 2. Fuente: Elaboración propia.

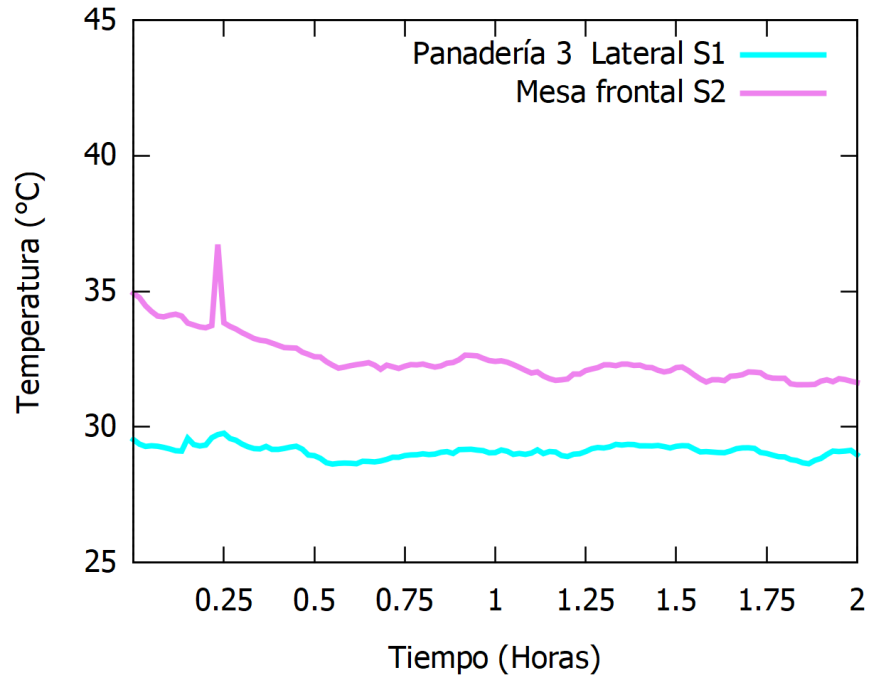


Fig. 5.3.1.3. Monitoreo de temperaturas en panadería 3. Fuente: Elaboración propia.

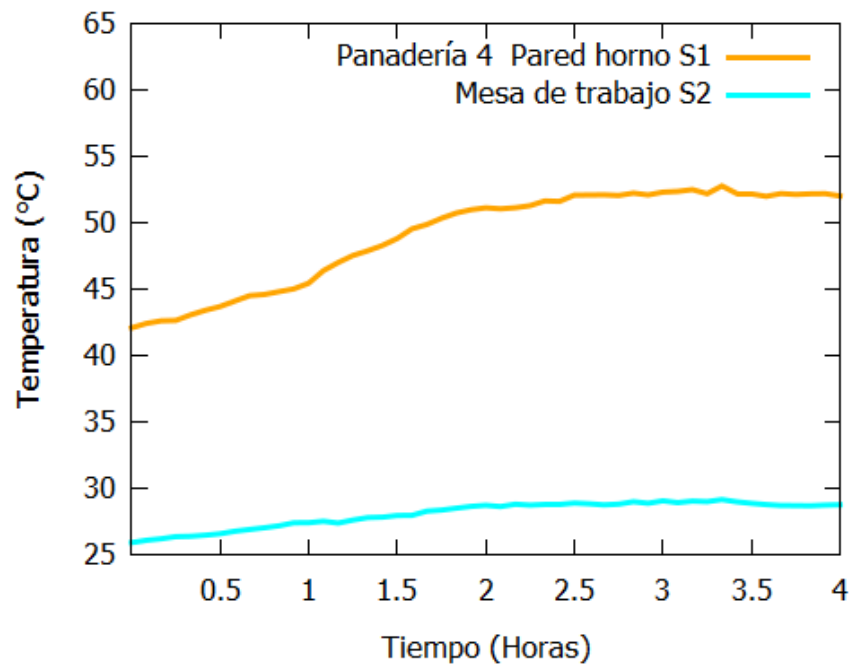


Fig. 5.3.1.4. Monitoreo de temperaturas en panadería 4. Fuente: Elaboración propia.

De los censos efectuados en las panaderías propuestas, la panadería 1 presentó distintas temperaturas pero cercanas a los a 30°C, aunque los intervalos no eran



constantes, la panadería 2 presentó las temperaturas más bajas ya que incluso en el lateral del horno no se alcanzaron altas temperaturas, trabajan con temperaturas cercanas a los 25°C y con ciertos altos hacia los 30°C, en la panadería 3 las temperaturas fueron más estables y de 30°C en adelante, mientras que en la panadería 4 se alcanzaron altas temperaturas en la pared del horno y más bajas en el área de mesa auxiliar. Las panaderías 1,3 y 4 son candidatas para experimentar con el chaleco, la primera porque es un espacio reducido donde se llegan a alcanzar temperaturas mayores a 30°C por intervalos, la panadería 3 porque las temperaturas de 30°C a 35°C son estables durante el periodo de horneado y el panadero debe estar cerca del horno por intervalos medianos de tiempo, en la panadería 4 porque las temperaturas cercanas a la puerta del horno son altas y el panadero trabaja de manera fija en ese punto.

### ***5.3.2. Selección de panadería y PCMs para el chaleco***

Se decidió trabajar en la panadería número 4, debido a las temperaturas alcanzadas cerca del horno. La panadería 1 y 3 presentaron condiciones adecuadas para el uso del chaleco, pero por razones concernientes a los negocios no se pudo continuar con la evaluación de la prenda. Para el experimento con el chaleco se utilizaron los módulos de aceite de coco virgen y con módulos de aceite de coco hidrogenado, los cuales se compararon con el chaleco solo, sin módulos. Se descartó el uso del chaleco con manteca de cacao por no alcanzar temperaturas mayores a 35°C prolongadamente.

#### 5.4. Fase V. Evaluación del chaleco

De las tres réplicas experimentales efectuadas por cada chaleco PCM analizado, los datos obtenidos se promediaron. Los datos sobre los signos vitales registrados del panadero y tiempo de horneado durante el experimento se encuentran en la sección ANEXOS en la tabla C.1.

Durante la evaluación de los chalecos PCM, se horneó en promedio 103 minutos cada día, pero se tomó el mínimo de minutos trabajados, que fueron 80 minutos, para que se pudieran promediar los censos. Las temperaturas del chaleco sin PCM (Fig. 5.4.1) fueron similares y mayores a la temperatura ambiental, siendo las presentadas en los frontales casi iguales después de los 50 minutos, lo cual representa acaloramiento en el panadero. En el chaleco PCM-aceite de coco virgen (Fig. 5.4.2), la temperatura ambiental fue alta durante el inicio hasta los 40 minutos; en el lado derecho, la temperatura presentada en el exterior fue más alta entre los 20 minutos a 65 minutos; del frente izquierdo las temperaturas internas fueron mayores a las externas por hasta 3°C y de la espalda, el exterior presentó menores temperaturas que el lado interno. Con el chaleco PCM-aceite de coco hidrogenado (Fig. 5.4.3), la temperatura ambiental fue la más alta pasados los 10 primeros minutos, seguida de la frontal exterior derecha; la diferencia de temperaturas frontales derechas fue de hasta 3°C, siendo las del interior las menores; en el frontal izquierdo ocurrió lo contrario, la parte interna presentó mayores temperaturas, con diferencia de 2°C respecto a las externas y en la zona de la espalda, el interior presentó temperaturas mayores al interior, con diferencia de 3°C.

Los chalecos con PCM consiguen un amortiguamiento de temperatura entre el medio ambiente y la persona, estos chalecos trabajaron en un ambiente con temperaturas entre 30°C a 37°C por más de una hora, siendo más estable el comportamiento cuando se

utilizó aceite de coco hidrogenado. El que las temperaturas sean mayores en la parte interna se relaciona con la temperatura corporal del panadero.

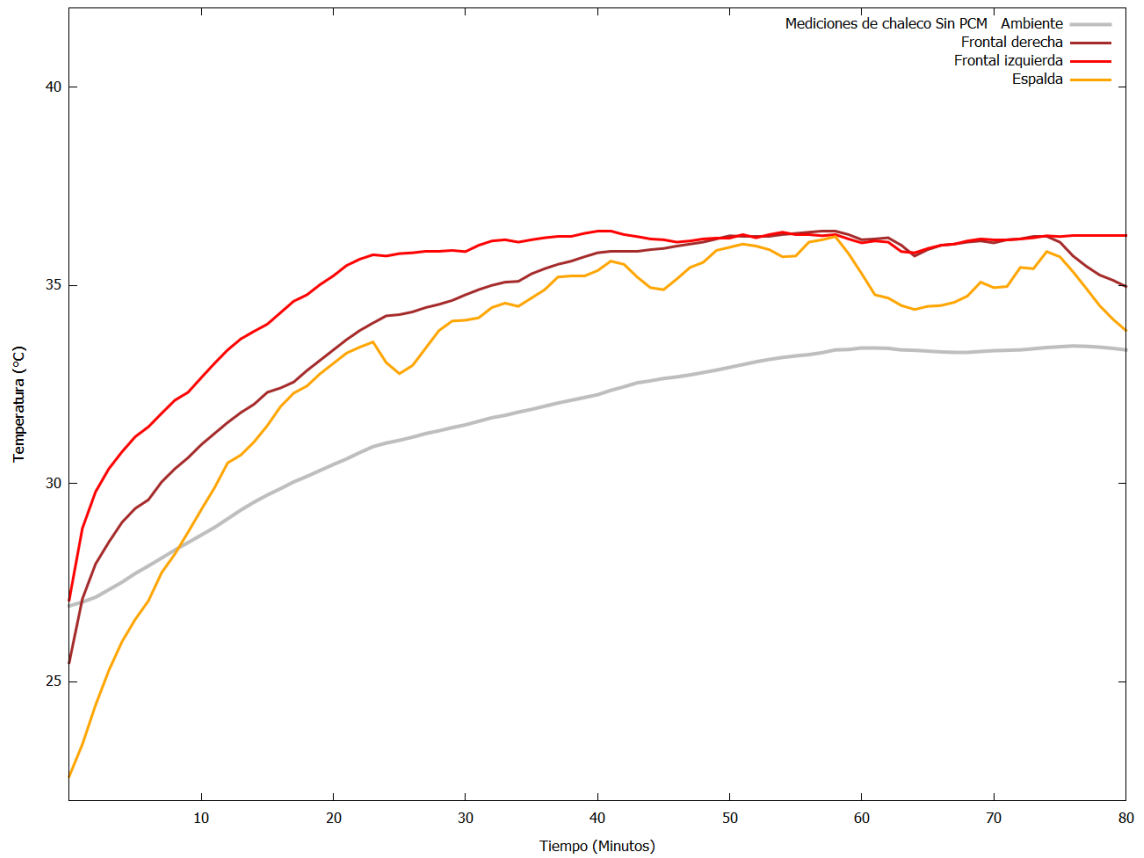


Fig. 5.4.1. Chaleco solo. Fuente: Elaboración propia.

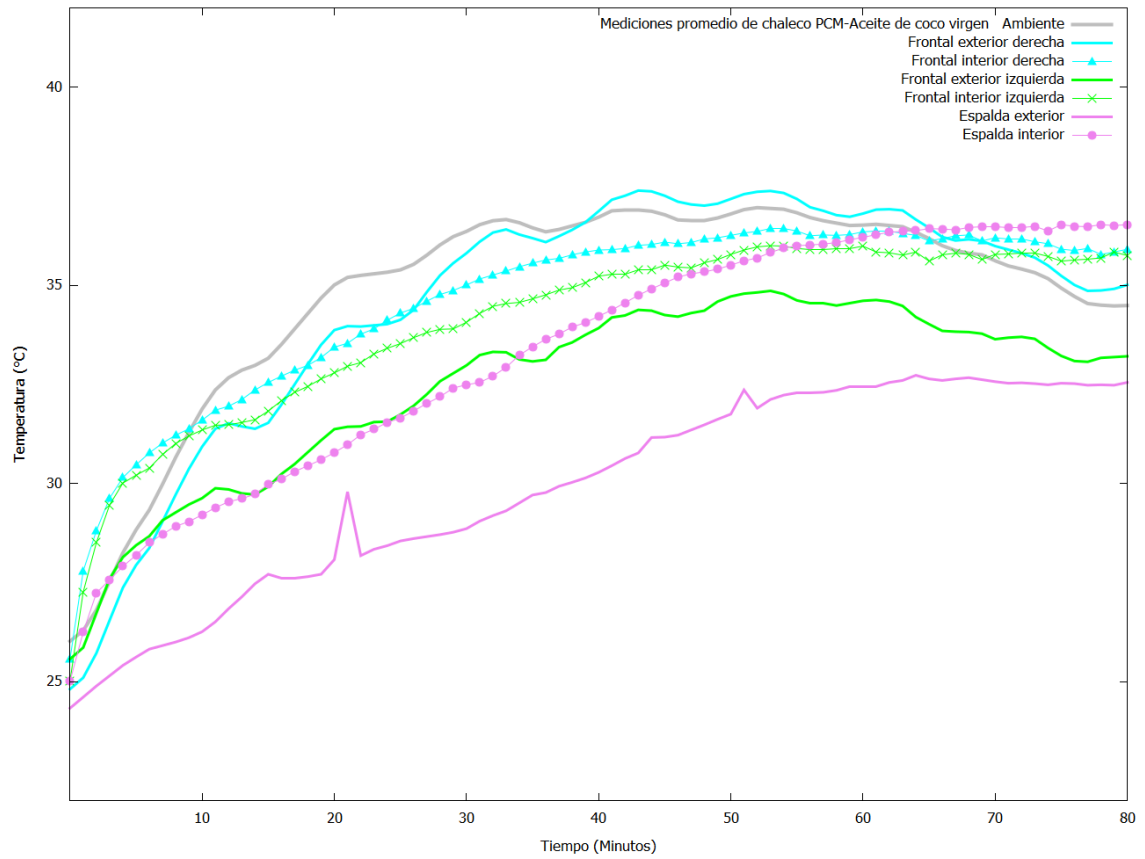


Fig. 5.4.2. Promedio de las mediciones censadas del Chaleco PCM - Aceite de coco virgen. Fuente: Elaboración propia.

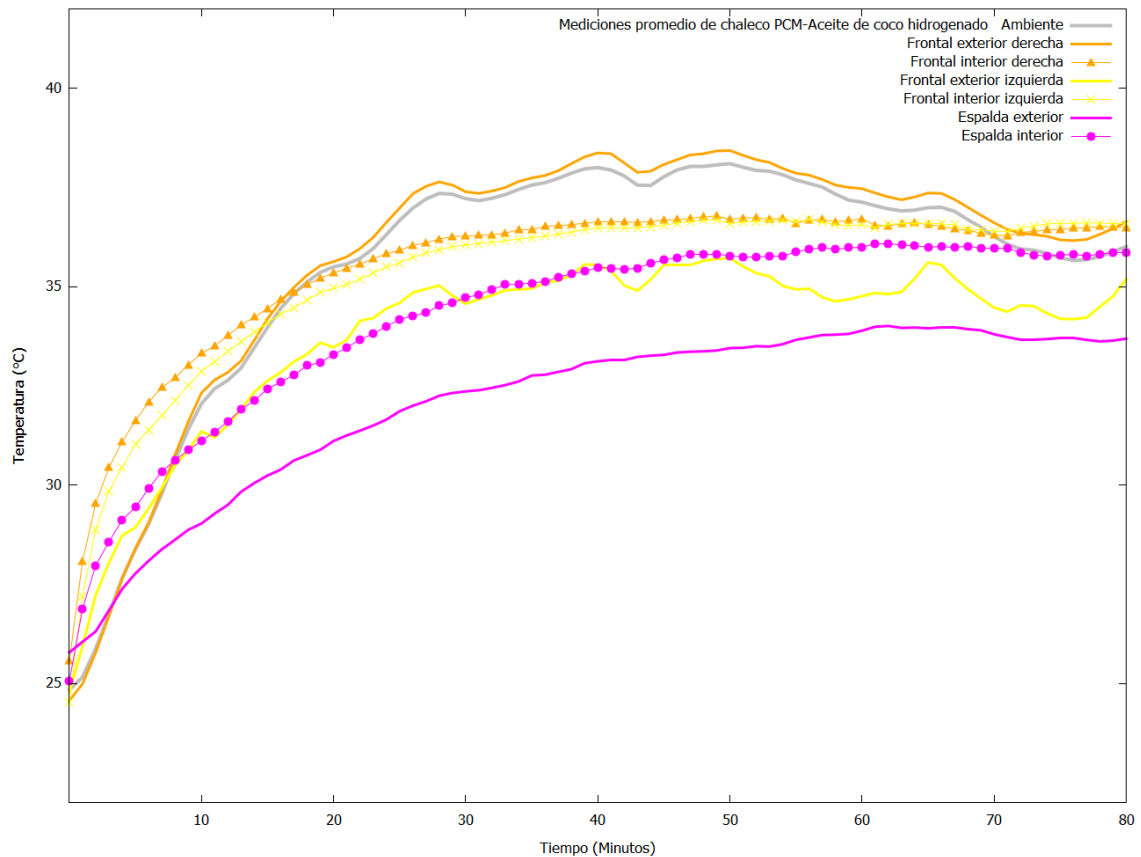


Fig. 5.4.3. Promedio de las mediciones censadas del Chaleco PCM - Aceite de coco hidrogenado. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.1. Tasa de esfuerzo percibida

De las seis repeticiones hechas con el chaleco PCM, el panadero, de acuerdo a la encuesta aplicada, sí apreció que podía trabajar por más tiempo frente al horno.

Cuando al panadero se le preguntó sobre su percepción al utilizar el chaleco, contestó el 100% de las veces que se sintió más fresco con la prenda puesta que cuando no la usaba (Fig. 5.4.1.1). Sobre la comodidad de la prenda, el panadero externó que fue

cómodo usar el chaleco, esto debido a que la prenda se ajustaba a su cuerpo y no le estorbaba en sus actividades (Fig. 5.4.1.2). Respecto al uso del chaleco durante el horneado, el utilizar el chaleco no le obstaculizó su trabajado durante el horneado, logró desenvolverse con normalidad, debido a que la prenda se sentía fresca (desde el inicio hasta la mitad), era justa a su cuerpo y no le estorbaba (Fig. 5.4.1.3).

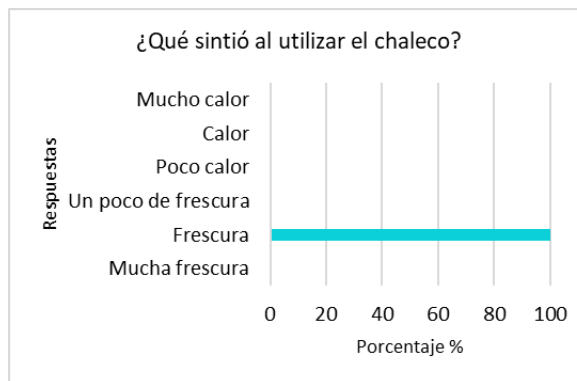


Fig. 5.4.1.1. Percepción al utilizar el chaleco PCM. Fuente: Elaboración propia.

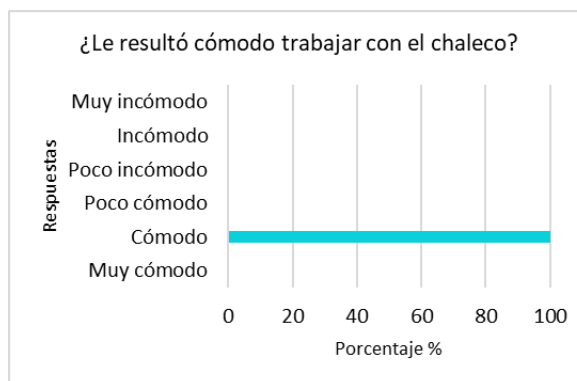


Fig. 5.4.1.2. Comodidad de la prenda. Fuente: Elaboración propia.

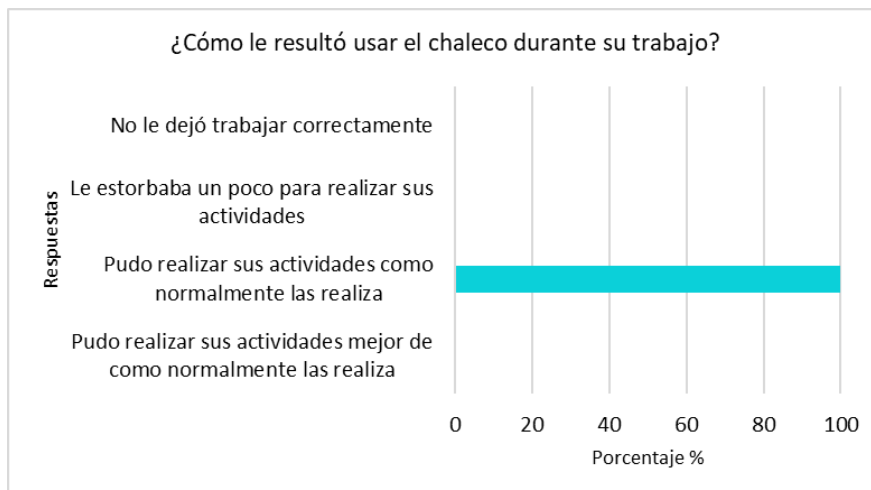


Fig. 5.4.1.3. Uso del chaleco durante el horneado. Fuente: Elaboración propia.

Sus primeras impresiones fueron que no le incomodaba usarlo (Fig. 5.4.1.4). El panadero afirmó sentirse más cómodo trabajando con el chaleco PCM. Sobre la pregunta relacionada con el contacto del chaleco con el cuerpo, el panadero respondió en su mayoría que el chaleco no estaba pegado a su cuerpo o que solo un poco (Fig. 5.4.1.5). En la figura 5.4.1.6, se muestra la gráfica referente a la sensación de la prenda percibida, donde el 66.7% de las veces el panadero afirmó sentirse más fresco durante el horneado, gracias al uso del chaleco PCM, en general afirmó sentir más frescura en comparación de cuando hornea sin chaleco.

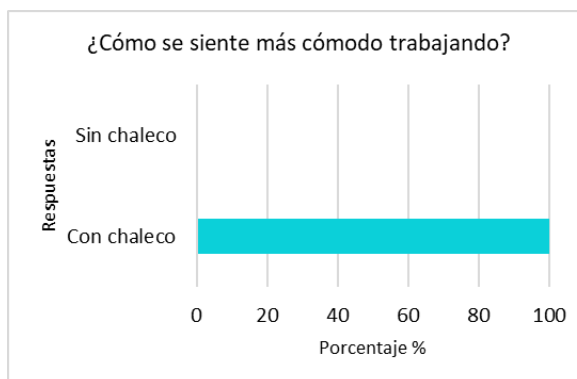


Fig. 5.4.1.4. Comodidad en el trabajo. Fuente: Elaboración propia.

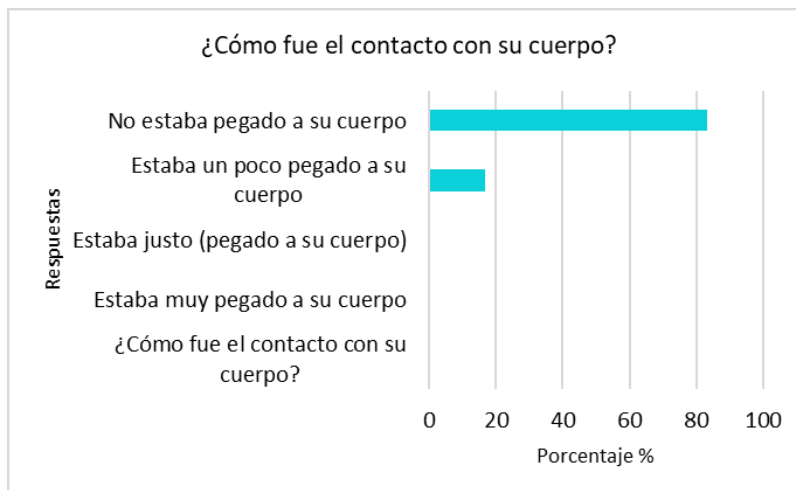


Fig. 5.4.1.5. Contacto con el cuerpo. Fuente: Elaboración propia.

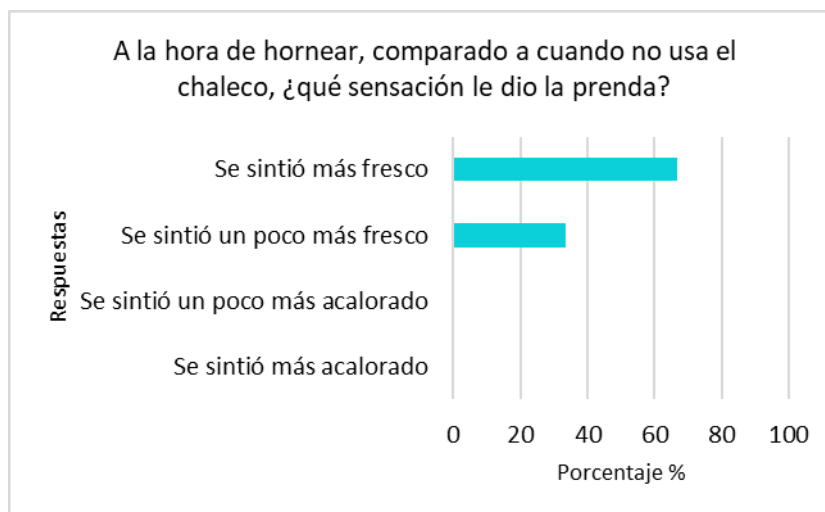


Fig. 5.4.1.6. Sensación de la prenda. Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.4.1.7 muestra los resultados de la pregunta sobre la influencia del chaleco durante el horneado, el panadero respondió que al usar el chaleco PCM en este proceso, le permitió trabajar junto al horno por más tiempo, ya que no sentía tanto calor como normalmente, o que al menos en su pecho ya no sentía tanto calor, solo en su rostro. Para el panadero sí representó una diferencia utilizar el chaleco PCM, percibió que trabaja mejor (por más tiempo sintiendo menos calor) utilizándolo (Fig. 5.4.1.8).



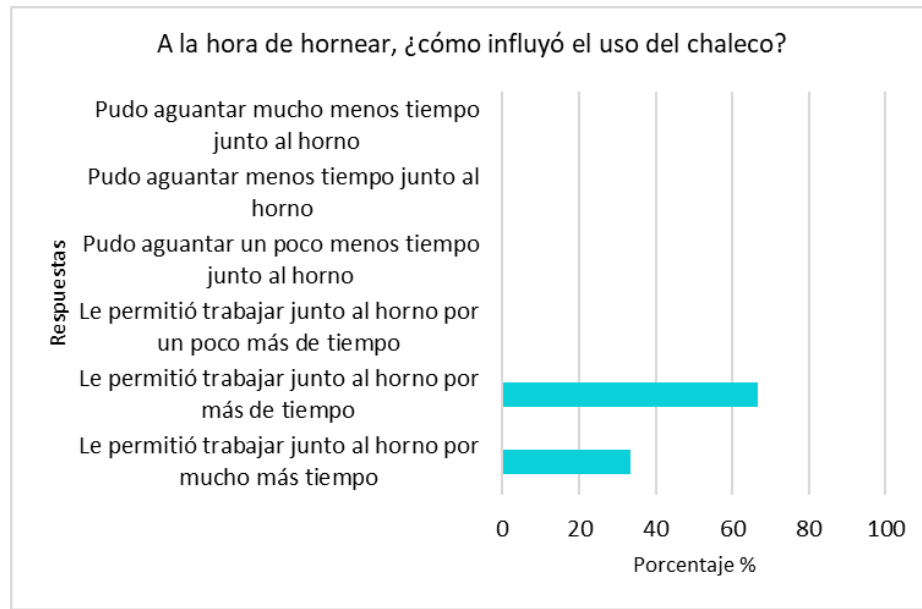


Fig. 5.4.1.7. Influencia del chaleco durante el horneado. Fuente: Elaboración propia.

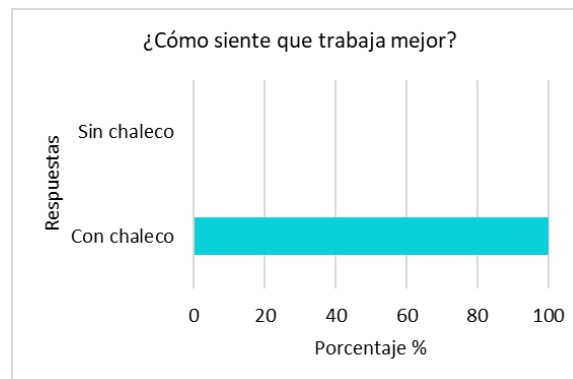


Fig. 5.4.1.8. Mejora en el trabajo. Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Con base en el análisis y en los resultados obtenidos en el trabajo expuesto, se concluye de la caracterización de materiales que los espectros obtenidos del aceite de coco virgen, refinado y cosmético, pertenecen a los ésteres y que muestra una relación de proporción entre el espectro y el punto de fusión. De las pruebas reológicas que dan un acercamiento al punto de fusión siendo de para el aceite de coco virgen 19°C, 21°C para el aceite de coco refinado, 15°C para el aceite de coco cosmético, 23°C para el aceite de corozo, 29°C para el aceite de coco hidrogenado y 23.5°C para la manteca de cacao. De la prueba de rango de fusión se obtuvo el punto de fusión a 30.28°C para el aceite de coco virgen, 29.22°C para el aceite de coco refinado, para el aceite de coco cosmético y para el aceite de corozo, 30.28°C para el aceite de coco hidrogenado y 36.32°C para la manteca de cacao.

De la prueba de desempeño térmico al medio ambiente mediante el uso módulos con pipes de con aceite de coco refinado, se observó que el aceite de coco es adecuado para trabajos en ambiente cálido y actividad moderada, pero no para una actividad térmicamente agresiva. De las pruebas de desempeño térmico en cámaras aisladas se observó el cambio de fase y se obtuvo que por 7 horas la manteca de cacao favorece el amortiguamiento térmico hasta 4.38°C y el aceite de coco hidrogenado hasta 4.06°C.

Finalmente se elaboró el chaleco PCM con pipes de aceite de coco virgen y aceite de coco hidrogenado, comparándolo con el chaleco sin PCM y se evaluó en una panadería que utiliza horno de leña.

Los resultados mostraron que, trabajando 80 minutos con temperaturas entre 30°C a 37°C, el aceite de coco virgen y el aceite de coco hidrogenado consiguen un amortiguamiento de temperaturas de 3°C. Y la percepción térmica de la persona que

utilizó los chalecos fue de mayor confort cuando utilizó el chaleco PCM que cuando no lo utilizó. Por lo que se demostró la reducción del estrés térmico en personas que trabajan en un ambiente térmicamente agresivo mediante el uso del chaleco con material de cambio de fase orgánico.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda la evaluación de la manteca de cacao para actividades térmicamente agresivas, el estudio y aplicación de los módulos PCMs a otros accesorios textiles para trabajos térmicamente agresivos, como guantes, así como la optimización del sistema de almacenamiento del PCM para su uso industrial. También el refinamiento de experimento en las cámaras y la adición de pruebas de caracterización en PCMs, para poder encontrar características térmicas de los materiales como la entalpía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOLEGIN Tecnología Textil. (2015). Microencapsulados en la industria textil. Recuperado de <https://asolengin.wordpress.com/2015/12/30/microencapsulados-en-la-industria-textil/>
- Belén-Camacho, D., López, I., González, M., Moreno-Álvarez, M., Medina, C. (2005). Evaluación físico-química de la semilla y del aceite de corozo (*Acrocomia aculeata* Jacq.). *Grasas y aceites*, 56, Fasc. 4, 311-316.
- Biswas, N., Cheow, Y., Tan, C., Kanagaratnam, S. (2016). Cocoa Butter Substitute (CBS) Produced from Palm Mid-fraction/Palm Kernel Oil/Palm Stearin for Confectionery Fillings. *J Am Oil Chem Soc*, DOI 10.1007/s11746-016-2940-4
- Centeno B., Guillermo J. (2011). *Técnicas Industriales de Polimerización*. Obtenido en abril del 2018, desde <http://profguillermojcentenob.blogspot.mx/2011/04/tecnicas-de-polimerizacion.html>
- Campos, Maya Sandra O. (2010). *Incorporación de PCM en elementos constructivos para la mejora energética*, España.
- Chamba Tituaña, Evelyn Aracely (2017). *Evolución de los textiles inteligentes de segunda generación o activos*. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Ibarra, Ecuador.
- Djamel, O., Mariam, I., Nesreen, G., Kamel G. and Khater B. (2017). Experimental study on using PCMs of different melting temperatures in one cooling vest to reduce its weight and improve comfort. *Energy and Buildings*, 155, 533-545.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA. (1980). *Las grasas y aceites en la nutrición humana*. Informe de una consulta de expertos. Roma.
- Givoni. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. International Thompson Publishing. E.E.U.U.
- Grande, A. (2016). *Estado del arte de sistemas de almacenamiento de energía térmica mediante cambio de fase, a media y alta temperatura* (tesis de maestría). Universidad de Sevilla, España.

- Grompone, M. (1992). Propiedades de los aceites vegetales modificados por hidrogenación, interesterificación y fraccionamiento. *Grasas y aceites*, 43 Fasc. 6.
- House, J., Lunt, H., Taylor, R., Milligan, G., Lyons, J. y House, C. (2012). The impact of a phase-change cooling vest on heat strain and the effect of different cooling pack melting temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1223–1231. doi 0.1007/s00421-012-2534-2
- Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC). Información ambiental de productos y sistemas. Recuperado de <https://itec.es/metabase/productos-sostenibles/14/173/1274/>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2007). *Notas Técnicas de Prevención 769. Ropa de protección: requisitos generales*. Madrid: NIPO: 211-07-046-3.
- Itani M., Ouahrani D., Ghaddar N., Ghali K. y Chakroun W. (2016). The effect of PCM placement on torso cooling vest for an active human in hot environment. *Building and Environment*, 107, 29-42.
- Itani M., Ghaddar N., Ghali K., Ouahrani D. y Chakroun W. (2017). Cooling vest with optimized PCM arrangement targeting torso sensitive areas that trigger comfort when cooled for improving human comfort in hot conditions. *Energy and Buildings*, 139, 417–425.
- Juárez, D., Balart, R., Ferrándiz, S. y García, D. (2012). Estudio de materiales con cambio de fase (PCM) y análisis SEM de micro (PCM). *3 Ciencias*, (34), 1-25.
- Johansson, A. y Hoffmann, I. (1979). The effect of processing on the content and composition of free sterols and sterol esters in soya bean oil. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 56, 886-889.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J., Magniont, C., Tribout, C. y Bertron A. (March 2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 111, 719-734.
- Lafarge. (2013). *Inercia térmica en edificación*. s.l.: Efficient building With Lafarge. España.

- Lambin, E. y Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–3472.
- Mondelo, P., Gregori, E., Comas, S., Castejón, E. y Bartolomé, E. (2001). *Ergonomía 2. Confort y estrés térmico*. España: Ediciones UPC, S.L.
- Monllor, P. (2007). *Caracterización de microencapsulados aplicados sobre materiales textiles* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Alcoy, España.
- Moscoso, M. (2016). *Aplicación de los materiales de cambio de fase en el mobiliario interior como reguladores de temperatura* (tesis de maestría). Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, España.
- Ouahrani, D., Itani, M., Ghaddar, N., Ghali, K. y Khater, B. (2017). Experimental study on using PCMs of different melting temperatures in one cooling vest to reduce its weight and improve comfort. *Energy and Buildings*, 155, 533-545.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA. (1980). *Las grasas y aceites en la nutrición humana. Informe de una consulta de expertos*. Roma.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Normas de seguridad y salud en el trabajo. (1967). *Problemas de salud relacionados con el trabajo en condiciones de sobrecarga térmica. Informe de grupo científico de la OMS (presidente grupo: Dr. H. S. Belding)*. Serie de Informes Técnicos No. 412.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). *GEO-5 Perspectivas del medio ambiente mundial. Medioambiente para el futuro que queremos*. Copyright 2012, United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-3181-1.
- Pastormelo J., Souza E. *Aprovechamiento de la masa térmica del hormigón para la construcción de Viviendas Sostenibles*. S.l.: Instituto del Cemento Portland Argentino Departamento de Tecnología del Hormigón División Vivienda, 2013.
- Payne, S.A. (2004). *Antimicrobial Superfinish and Method of Making*. United States Patent Application no. 20040077747.
- Potter, M. y Scott, E. (2004). *Termodinámica*. Thomson Editores, S.A. de C.V.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2012). GEO-5 Perspectivas del medio ambiente mundial. Medioambiente para el futuro que queremos. Copyright 2012, United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-3181-1.
- Quiroz O., José, G., Espinosa R, Javier, Castolo C., Dulce. (2000). Microcápsulas. Recuperado de [http://www.geocities.ws/tecno\\_farma/microcapsulas.htm](http://www.geocities.ws/tecno_farma/microcapsulas.htm)
- Resnik, K. R. Halliday, D. K. (1999). *Física. vol.1. s.l. Edición en español*. México: Compañía Editorial Continental.
- Román, M. García, A., Salgado, J. (2016). *Refinado del aceite*. Recuperado en septiembre de 2019 en <https://p.se-todo.com/other/18345/index.html>
- Ruano San José, María Almudena. (2011). Análisis térmico de la aplicación de materiales de cambio de fase en climatización (tesis de licenciatura). Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Sánchez, M. (2009). *Microencapsulación de materiales de cambio de fase para su aplicación textil* (tesis doctoral). Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España.
- Segers, J.C. and van de Sande, R. (1988). Degumming theory and practice. Proceedings AOCS World Conference on Edible Fats and Oils Processing. Maastricht, 88-83.
- Secretaría del Trabajo y Prevención Social. (2002). Norma Oficial Mexicana *NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas-Condicion de seguridad e higiene*. México: NOM.
- Segers, J.C. and van de Sande, R. (1988). Degumming theory and practice. Proceedings AOCS World Conference on Edible Fats and Oils Processing. Maastricht, 88-83.
- Thomas, A. 1982. Über die Entfernung von Schadstoffen bei der Dämpfung von Speiseölen und fetten (Removal of pollutants during the steam treatment of oils and fats). *Fette Seifen Anstrichmittel*, 84, 133-136.
- Vásconez Ponce, Mónica Alexandra (2014). *Textiles inteligentes y su factibilidad de ser aplicados en un kit deportivo para la empresa Guaytambo Soccer*. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Escuela de Diseño Industrial. Ambato, Ecuador.

Villodas, S., Hidrología I. s.l. Facultad de ingeniería civil, Universidad Nacional de Cuyo, 2006.



## ANEXOS

## A. PRODUCTIVIDAD

Curso práctico Microscopía electrónica. 2019



El Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca,  
Otorgan la presente:

# CONSTANCIA


A:

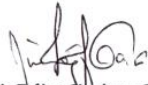
## Itzel Gómez García

Por haber asistido al Curso Práctico:  
“Microscopía Electrónica”

Realizado del 23 al 25 de enero 2019, en las instalaciones de este Centro de Investigación, con duración de 25 horas.

  
Ing. Leopoldo Enriquez Moreno  
JEOL de México, S. A. de C. V.

  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
Director IPN-CIDIR Oaxaca

  
Dr. Luis Felipe Jiménez García  
Presidente de la Asociación Mexicana de Microscopía A. C. Facultad de Ciencias UNAM



Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México 25 de enero de 2019

## Congreso AMIA 2019

UNIVERSIDAD DE  
GUANAJUATOLa Universidad de Guanajuato  
otorga la presente**CONSTANCIA**

A

Itzel Garcia, Rafael Alavez, José Montes, Magdalena Caballero y Fernando Chiñas

Por la contribución con el artículo:

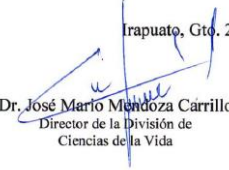
*ACEITE DE COCO COMO MATERIAL DE CAMBIO DE FASE APLICADO A TEXTILES*

en el **XXVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA)**, celebrado en la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca, los días 25 al 27 de septiembre del 2019.


Irapuato, Gto. 27 de septiembre de 2019




Mtro. Adrián Flores Ortega  
Director del Departamento de  
Ingeniería Agrícola



Dr. José Mario Mendoza Carrillo  
Director de la División de  
Ciencias de la Vida



Mtro. Tomás Gaytán Muñiz  
Presidente de la Asociación Mexicana de  
Ingeniería Agrícola (AMIA)



Dr. Jonathan Cepeda Negrete  
Coordinador del Comité Organizador  
AMIA 2019

## Proyectos. Desarrollo tecnológico o innovación para alumnos del IPN 2019


**RESULTADOS DE LA CONVOCATORIA DE  
PROYECTOS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO O INNOVACIÓN  
PARA ALUMNOS DEL IPN 2019**

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**Notas importantes:**

- La comprobación del recurso se realizará conforme a la Guía de Operación para el Ejercicio y Control del Presupuesto vigente y a los términos establecidos por la **Coordinación Administrativa de la SIP**, los cuales serán publicados en la página de la Dirección de Investigación ([www.ipn.mx/investigacion/](http://www.ipn.mx/investigacion/)), en el menú de "Convocatorias Internas".
- Para los proyectos de dos años de duración, el recurso autorizado es únicamente para el desarrollo de las actividades planteadas para el primer año. La asignación y ministración del segundo año, así como la continuidad del proyecto estarán sujetas a la suficiencia presupuestal y a la entrega del informe del primer año.
- Los informes de los proyectos autorizados en esta convocatoria deberán ser presentados a través del SAPPi durante la primera quincena de abril de 2020.
- La compra de refacciones y accesorios relacionados con TIC se deberán seguir las indicaciones de la Dirección de Cómputo y Comunicaciones, marcadas en la Circular CGSI/0437/2019.
- No es posible la compra de equipos con los montos autorizados.

NÚMERO	ALUMNO	DEPENDENCIA POLITÉCNICA	TÍTULO DEL PROYECTO	DURACIÓN	DICTAMEN	MONTO AUTORIZADO PARTIDA 2000 (MXN)	MONTO AUTORIZADO PARTIDA 4000 (MXN)	MONTO TOTAL AUTORIZADO (MXN)
30	ITZEL GARCÍA GÓMEZ	CIIDIR OAX	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO PARA PROCESAR DESECHOS DE LA INDUSTRIA DE LA COPRA	1 año	APROBADO	\$21,675.00	\$0.00	\$21,675.00

Taller sobre el material de cambio de fase *Parafina. Elaboración de velas aromáticas.*  
2019

**Oaxaca**  
JUNTOS CONSTRUIMOS EL CAMBIO



**IEBO**  
Instituto de Estudios de Bachillerato  
del Estado de Oaxaca

"2019, AÑO POR LA ERRADICACIÓN DE LA VIOLENCIA CONTRA LA MUJER"

**PLANTEL:** 191 SAN ANDRÉS PAXTLÁN  
**ASUNTO:** CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN

**A QUIEN CORRESPONDA**

**PRESENTE:**

El que suscribe Lic. Juan E. Miguel Mejía, director del plantel 191 "San Andrés Paxtlán, con clave 20ETH0191W, del Instituto de Estudios de Bachillerato del Estado de Oaxaca, Ubicado en San Andrés Paxtlán Miahuatlán, Oax.

**HACE CONSTAR**

Que la Ingeniero en Diseño, Itzel García Gomez, impartió el taller "elaboración de veladoras aromáticas" el día 16 de septiembre de 2019, en un horario de 8:00 a 16:00hrs. En las instalaciones del plantel IEBO 191, ubicado en el municipio de san Andrés Paxtlán.

A petición de la interesada y para los fines que al mismo convengan; se extiende la presente a los treinta y un días del mes de octubre de dos mil diecinueve.



**ATENTAMENTE**  
**SUFRAGIO EFECTIVO NO REELECCIÓN**  
**"EL RESPETO AL DERECHO AJENO ES LA PAZ"**

**LIC. JUAN E. MIGUEL MEJIA**  
**DIRECTOR DEL PLANTEL 191**  
**"SAN ANDRÉS PAXTLÁN"**

C.C.P. PARA EL EXPEDIENTE DEL PLANTEL. MISMO FIN

Av. Universidad No. 616  
Fraccionamiento Trinidad de las Huertas  
Oaxaca de Juárez, Oax. C.P 68 120  
Tels.5186601/018005701660

www.sitio.evaiebo.com

## Taller vivencial demostrativo Bajareque 2019



Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional

Otorgan la presente

## CONSTANCIA

a:

Itzel García Gómez

Por participar en el TALLER VIVENCIAL DEMOSTRATIVO:

“Muro de Bajareque y Piso de Suelo Cemento”, realizado el 5 y 6 de diciembre del 2019, en este Centro de Investigación, con una duración de 15 h.

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, a 17 de diciembre del 2019.

“La Técnica al Servicio de la Patria”

  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.D.I.R. - IPN  
DR. SALVADOR ISIDRO BELMONTE JIMÉNEZ  
DIRECTOR

  
DRA. LIDIA ARGELIA JUÁREZ RUÍZ  
PRESIDENTE DE LA ACADEMIA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Folio: SSEIS/DSB/CS/620/2019

## XIII Jornadas politécnicas 2020



EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



El Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional

Otorga la presente

## CONSTANCIA

A: Itzel García Gómez

Por su participación como **PONENTE** en las **XIII Jornadas Politécnicas** “Hacia la convergencia científica, tecnológica e innovación para el desarrollo regional”, con el tema:

- Agregados naturales como matriz del suelo para la construcción sostenible - de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento:
- Uso del Conocimiento Tecnológico para el Diseño y Construcción Sostenible -

Realizadas en modalidad virtual-asincrónica con retroalimentación, los días 19 y 20 de mayo

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, a 20 de mayo de 2020

“La Técnica al Servicio de la Patria”



DR. SALVADOR ISIDRO BELMONTE JIMÉNEZ  
Director

Firmado digitalmente por Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
Motivo: Estoy aprobando este documento  
Ubicación: CIDIR Unidad Oaxaca, Xoxocotlán, Oax.  
Fecha: 2020-05-26 17:15:05:00

Folio: SSEIS/DSE/CS/288/2020



Congreso virtual CIVITEC 2020

# CIVITEC2020

## CONGRESO INTERNACIONAL VIRTUAL DE INNOVACIÓN, TECNOLOGÍA Y EDUCACIÓN

**Asociación Internacional de Investigación en Educación Superior A.C.**  
Otorga la presente

# CONSTANCIA

A: ITZEL GARCIA GOMEZ

Por su participación como **Ponente** en el  
**8° Congreso Internacional Virtual de Innovación, Tecnología y Educación "CIVITEC 2020"**.  
Con su ponencia titulada:  
"RESINA DE PINO COMO AGLUTINANTE SOSTENIBLE PARA EL REFUERZO DEL ADOBE."

Eje temático:  
Ingenierías

Tijuana, Baja California,  
30 y 31 de Octubre del 2020.

ATENTAMENTE



**Dra. María Elizabeth Ojeda Orta**  
Presidenta **CIVITEC 2020**







## B. FASE V

A continuación se muestra la encuesta aplicada para la fase V de evaluación.

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Seleccione la opción con la que esté totalmente de acuerdo y/o escriba lo que se le indique.

**1. ¿Qué sintió al utilizar el chaleco?**

- a) Mucha frescura
- b) Frescura
- c) Un poco de frescura
- e) Poco calor
- f) Calor
- g) Mucho calor

**2. ¿Le resultó cómodo trabajar con el chaleco?**

- a) Muy cómodo
- b) Cómodo
- c) Poco cómodo
- d) Poco incómodo
- e) Incómodo
- f) Muy incómodo

**¿Por qué? Puede elegir más de una opción**

- a) Por lo amplio de la prenda
- b) Por lo largo de la prenda
- c) Por lo pesado de la prenda
- d) Por lo ligero de la prenda
- e) Por lo corto de la prenda
- f) Por lo justo de la prenda
- g) Otra (escríbala aquí):

---



---



---

**3. ¿Cómo le resultó usar el chaleco durante su trabajo?**

- a) Pude realizar mis actividades mejor de como normalmente las realizo.
- b) Pude realizar mis actividades como normalmente las realizo.
- c) Me estorbaba un poco para realizar mis actividades.
- d) No me dejó trabajar correctamente.

**¿Por qué? Puede elegir más de una opción**

- a) Por el tamaño de la prenda
- b) Por el peso de la prenda
- c) Otra (escríbala aquí):

---



---



---

**4. ¿Cómo se siente más cómodo trabajando?**

- a) Con chaleco
- b) Sin chaleco

**5. ¿Cómo fue el contacto del chaleco con su cuerpo?**

- a) Estaba muy pegado a mi cuerpo  
 b) Estaba pegado a mi cuerpo  
 c) Estaba un poco pegado a mi cuerpo  
 d) No estaba pegado a mi cuerpo
- 6. A la hora de hornear, comparado a cuando no usa chaleco, ¿qué sensación le dio la prenda?**  
 a) Me sentí más acalorado  
 b) Me sentí un poco más acalorado  
 c) Me sentí un poco más fresco  
 d) Me sentí más fresco
- 7. A la hora de hornear, ¿cómo influyó el uso del chaleco?**  
 a) Me permitió trabajar junto al horno por mucho más tiempo  
 b) Me permitió trabajar junto al horno por más tiempo  
 c) Me permitió trabajar junto al horno por un poco más tiempo  
 d) Pude aguantar un poco menos tiempo junto al horno  
 e) Pude aguantar menos tiempo junto al horno  
 f) Pude aguantar mucho menos tiempo junto al horno
- 8. ¿Cómo siente que trabaja mejor?**  
 c) Con chaleco  
 d) Sin chaleco

### C. DATOS RECABADOS

A continuación se muestran los signos vitales del panadero durante el experimento con el chaleco PCM en la panadería (aceite de coco virgen y aceite de coco hidrogenado).

Tabla C.1.

*Datos iniciales y finales durante el experimento*

Nombre	Primo Feliciano Mijangos Pérez				Edad	46 años	
Material	Aceite de coco virgen	Réplica	1	Material	Aceite de coco hidrogenado	Réplica	1
Peso inicial (kg)	89	Peso final (kg)	88.5	Peso inicial (kg)	87	Peso final (kg)	87
Temperatura inicial (°C)	36.7	Temperatura final (°C)	36.8	Temperatura inicial (°C)	35.5	Temperatura final (°C)	33.1
Presión inicial	161/103	Presión final	123/99	Presión inicial	157/107	Presión final	133/101
Pulso inicial	120	Pulso final	114	Pulso inicial	118	Pulso final	115
Saturación de oxígeno inicial	97	Saturación de oxígeno final	96	Saturación de oxígeno inicial	96	Saturación de oxígeno final	96
Hora de inicio de horneado	12:16	Hora de término de horneado	13:51	Hora de inicio de horneado	11:58	Hora de término de horneado	14:01

<b>Material</b>	<b>Aceite de coco virgen</b>	<b>Réplica</b>	<b>2</b>	<b>Material</b>	<b>Aceite de coco hidrogenado</b>	<b>Réplica</b>	<b>2</b>
Peso inicial (kg)	88	Peso final (kg)	87.6	Peso inicial (kg)	87.5	Peso final (kg)	87
Temperatura inicial (°C)	35.6	Temperatura final (°C)	35.7	Temperatura inicial (°C)	36.3	Temperatura final (°C)	36.6
Presión inicial	143/104	Presión final	146/110	Presión inicial	154/102	Presión final	142/102
Pulso inicial	115	Pulso final	109	Pulso inicial	126	Pulso final	125
Saturación de oxígeno inicial	95	Saturación de oxígeno final	96	Saturación de oxígeno inicial	96	Saturación de oxígeno final	97
Hora de inicio de horneado	12:04	Hora de término de horneado	14:08	Hora de inicio de horneado	11:42	Hora de término de horneado	13:03
<b>Material</b>	<b>Aceite de coco virgen</b>	<b>Réplica</b>	<b>3</b>	<b>Material</b>	<b>Aceite de coco hidrogenado</b>	<b>Réplica</b>	<b>3</b>
Peso inicial (kg)	86.5	Peso final (kg)	86	Peso inicial (kg)	87	Peso final (kg)	86.5
Temperatura inicial (°C)	36.6	Temperatura final (°C)	37	Temperatura inicial (°C)	36.7	Temperatura final (°C)	36.5
Presión inicial	140/105	Presión final	147/103	Presión inicial	139/92	Presión final	131/91
Pulso inicial	112	Pulso final	113	Pulso inicial	130	Pulso final	126
Saturación de oxígeno inicial	96	Saturación de oxígeno final	97	Saturación de oxígeno inicial	96	Saturación de oxígeno final	96
Hora de inicio de horneado	12:25	Hora de término de horneado	14:23	Hora de inicio de horneado	11:51	Hora de término de horneado	13:11

Fuente: Elaboración propia.