

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Desarrollo y evaluación de pintura blanca a base de sulfato de bario  
como aislante

Trabajo de graduación presentado por  
Laura Domenica Grazioso Köng para optar al grado  
académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2023



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Desarrollo y evaluación de pintura blanca a base de sulfato de bario  
como aislante

Trabajo de graduación presentado por  
Laura Domenica Grazioso Köng para optar al grado  
académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2023

V.ºB.º

(f) 

MSc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

Tribunal examinador:

(f) 

MSc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

(f) 

MSc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 

Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 3 de mayo de 2023

# ÍNDICE

LISTADO DE CUADROS .....	v
LISTADO DE FIGURAS .....	ix
LISTADO DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
III. OBJETIVOS .....	4
A. General .....	4
B. Específico.....	4
IV. JUSTIFICACIÓN .....	5
V. MARCO TEÓRICO .....	6
VI. METODOLOGÍA.....	59
VII. RESULTADOS .....	67
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	78
IX. CONCLUSIONES .....	85
X. RECOMENDACIONES .....	86
XI. BIBLIOGRAFÍA CITDAD .....	87
XII. ANEXOS.....	89
Balance de materia.....	89
Balance de energía .....	89
Cálculos de muestra .....	91
Datos originales.....	97
Datos calculados.....	123
Datos de equipos y reactivos .....	133
Fichas técnicas de reactivos utilizados .....	139
XIII. GLOSARIO.....	142

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro No. 1 Porcentaje de las materias primas utilizadas para la elaboración de pintura blanca a base de sulfato de bario.....	61
Cuadro No. 2 Resultado de porcentajes de sulfato de bario en cada muestra de pintura desarrollada.....	67
Cuadro No. 3 Muestra de formulación de pintura para el desarrollo de la misma .....	67
Cuadro No. 4 Resultados de análisis organolépticos de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario .....	68
Cuadro No. 5 Resultados de análisis de viscosidad en centipoises de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario.....	68
Cuadro No. 6 Resultados de análisis de tiempo de secado en minutos de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario .....	69
Cuadro No. 7 Resultados de análisis de brillo en unidades GU de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario .....	69
Cuadro No. 8 Conductividad térmica de pintura desarrollada y pintura comercial medida en $W/m \cdot K$ .....	74
Cuadro No. 9 Resistencia térmica de pintura desarrollada y pintura comercial medida en $K \cdot m^2/W$ .....	74
Cuadro No. 10 Emisividad de la pintura desarrollada y pintura comercial .....	75
Cuadro No. 11 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 en cielo semi despejado.....	75
Cuadro No. 12 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra comercial en cielo semi despejado .....	75
Cuadro No. 13 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 en cielo despejado.....	76
Cuadro No. 14 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra comercial en cielo semi despejado .....	76
Cuadro No. 15 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 y pintural comercial.....	77
Cuadro No. 16 Porcentajes de sulfato de bario en cada muestra de pintura desarrollada .....	97
Cuadro No. 17 Análisis de olor de la pintura desarrollada a $23^{\circ}C$ .....	98
Cuadro No. 18 Análisis de color de la pintura desarrollada a $23^{\circ}C$ .....	98
Cuadro No. 19 Análisis de textura de la pintura desarrollada a $23^{\circ}C$ .....	99
Cuadro No. 20 Análisis de tacto de la pintura desarrollada a $23^{\circ}C$ .....	99
Cuadro No. 21 Análisis de viscosidad, $\pm 0.5$ centipoises, de la pintura desarrollada a $23^{\circ}C$ ..	99

Cuadro No. 22 Análisis de tiempo de secado en minutos de la pintura desarrollada con grosor de cubrimiento de 0.3 milímetros .....	100
Cuadro No. 23 Análisis de brillo en unidades GU de la pintura desarrollada con ángulo de 60° .....	101
Cuadro No. 24 Condiciones ambientales de la primera experimentación .....	102
Cuadro No. 25 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (control, 0% de sulfato de bario).....	103
Cuadro No. 26 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 9.4%).....	103
Cuadro No. 27 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 13.4%).....	103
Cuadro No. 28 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 17%).....	104
Cuadro No. 29 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 20.4%).....	104
Cuadro No. 30 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 23.6%).....	104
Cuadro No. 31 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 25%).....	105
Cuadro No. 32 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura comercial en cielo semi-despejado.....	105
Cuadro No. 33 Condiciones ambientales de la experimentación en cielo despejado .....	105
Cuadro No. 34 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (control 0% de sulfato de bario) en cielo despejado .....	106
Cuadro No. 35 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 9.4%).....	107
Cuadro No. 36 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 13.4%).....	107
Cuadro No. 37 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 17%).....	107
Cuadro No. 38 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 20.4%).....	108
Cuadro No. 39 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 23.6%).....	108
Cuadro No. 40 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 25%).....	108

Cuadro No. 41 Medición de temperatura en °C $\pm$ 0.05 de la pintura comercial en cielo despejado.....	109
Cuadro No. 42 Condiciones ambientales de la experimentación durante cada medición realizada .....	109
Cuadro No. 43 Temperaturas en °C $\pm$ 0.05 de pintura desarrollada expuesta al sol durante 9 horas.....	110
Cuadro No. 44 Temperaturas en °C $\pm$ 0.05 de pintura comercial expuesta al sol durante 9 horas.....	112
Cuadro No. 45 Medición de temperatura en °C con termómetro láser para determinar emisividad de pintura desarrollada (23.6%) .....	116
Cuadro No. 46 Medición de temperatura en °C con termómetro láser para determinar emisividad de pintura comercial .....	119
Cuadro No. 47 Resultados de temperaturas de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado.....	123
Cuadro No. 48 Resultados de temperaturas de la lámina medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado .....	124
Cuadro No. 49 Resultados de temperaturas de la lámina por la parte de abajo medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado.....	124
Cuadro No. 50 Resultados de temperaturas de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario y pintura comercial medido con termómetro de termocupla y cielo despejado.....	125
Cuadro No. 51 Resultados de temperaturas de la lámina medido con termómetro de termocupla y cielo despejado.....	126
Cuadro No. 52 Resultados de temperaturas de la lámina por la parte de abajo medido con termómetro de termocupla y cielo despejado .....	126
Cuadro No. 53 Resultados de temperatura en °C de pintura desarrollada con concentración de sulfato de bario al 23.6% con exposición al sol durante 9 horas. ....	127
Cuadro No. 54 Resultados de temperatura en °C de pintura comercial con exposición al sol durante 9 horas.....	128
Cuadro No. 55 Resultados de intensidad lumínica en lux por cada medición de temperatura realizada. ....	129
Cuadro No. 56 Resultados de promedio transferencia de calor por conducción medido en W/m <sup>2</sup> en lámina de pintura desarrollada y lámina de pintura comercial por cada medición de temperatura durante el día.....	130
Cuadro No. 57 Resultados de la conductividad térmica de la pintura desarrollada y comercial por cada temperatura tomada con exposición de 9 horas al sol.....	131
Cuadro No. 58 Equipos utilizados .....	133

Cuadro No. 59 Reactivos utilizados.....	133
---	-----

## LISTADO DE FIGURAS

Figura No. 1 Mecanismos de transferencia de calor en vivienda .....	13
Figura No. 2 Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente.....	20
Figura No. 3 Radiación directa y difusa que incide sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.....	24
Figura No. 4 Espectro solar .....	24
Figura No. 5 Balance solar.....	25
Figura No. 6 Emisividades de algunos materiales a temperatura ambiente .....	28
Figura No. 7 Emisividad normal de algunos materiales, superficies y pinturas.....	29
Figura No. 8 Absorción, reflexión y transmisión de la radiación incidente por un material semitransparente. ....	31
Figura No. 9 Comparación de cuerpo negro y cuerpo real .....	33
Figura No. 10 Espectro electromagnético.....	34
Figura No. 11 Fundamentos de la luz blanca.....	35
Figura No. 12 Rango de longitud de onda de los colores .....	36
Figura No. 13 Diagrama de bloques del proceso de fabricación de pintura .....	50
Figura No. 14 Balance de masa teórico .....	50
Figura No. 15 Esquema de medición de temperatura .....	63
Figura No. 16 Parámetros de espesor según aplicador marca Bird .....	64
Figura No. 17 Esquema de medición de temperaturas para cálculo de emisividad.....	66
Figura No.18 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo semi despejado. ....	70
Figura No. 19 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo despejado. ....	71
Figura No. 20 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo semi despejado y despejado.....	72
Figura No. 21 Comparación de temperaturas de la superficie pintada de blanco de la muestra 6 de la pintura desarrollada versus pintura comercial con exposición solar durante todo el día. ....	73
Figura No. 22 Perfil de temperaturas para el análisis de transferencia de calor por conducción en la lámina de hierro negro pintada con pintura desarrollada y comercial .....	74
Figura No. 23 Balance de masa de la elaboración de pintura blanca a base de sulfato de bario .....	89

Figura No. 24 Elaboración de las muestras de pinturas a diferentes concentraciones de sulfato de bario.....	97
Figura No. 25 Comparación de color de pintura desarrollada con comercial .....	98
Figura No. 26 Análisis de viscosidad de las pinturas desarrolladas .....	100
Figura No. 27 Tiempo de secado de las pinturas desarrolladas con grosor de 0.3 mm.....	101
Figura No. 28 Toma de temperaturas de pintura desarrollada en lámina con cielo semi despejado.....	102
Figura No. 29 Toma de temperatura de pintura desarrollada en lámina en cielo despejado .	106
Figura No. 30 Comparación de pintura comercial y pintura desarrollada.....	114
Figura No. 31 Medición de intensidad lumínica medida en lux .....	114
Figura No. 32 Dispositivo desarrollado para medición de emisividad de pintura.....	115
Figura No. 33 Toma de temperatura en cuerpo negro para cálculo de emisividad de la pintura desarrollada.....	122
Figura No. 34 Toma de temperatura en cuerpo gris para cálculo de emisividad de la pintura desarrollada.....	122
Figura No. 35 Dispensor marca IKA modelo T25 .....	134
Figura No. 36 Viscosímetro marca IKA modelo Rotavisc .....	134
Figura No. 37 Balanza de medición marca Precisión modelo ACS6-ZE14.....	135
Figura No. 38 Glossímetro marca Rhopoint modelo Novo-Gloss.....	135
Figura No. 39 Termómetro digital Electrometer modelo 212 .....	136
Figura No. 40 Termómetro láser Digi-Sense modelo 20250-05.....	136
Figura No. 41 Termocupla marca Extech modelo TM25 .....	137
Figura No. 42 Bombilla Standard Par 38.....	137
Figura No. 43 Termómetro digital Fluke modelo 59 Mini IR .....	138
Figura No. 44 Aplicador de pintura marca Bird BGD201/10.....	138
Figura No. 45 Ficha técnica de la resina epóxica .....	139
Figura No. 46 Ficha técnica del sulfato de bario .....	140
Figura No. 47 Ficha técnica del carbonato de calcio .....	141

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación No. 1 Convección.....	14
Ecuación No. 2 Conducción de calor a través de una capa plana.....	15
Ecuación No. 3 Ley de Fourier para la conducción de calor .....	15
Ecuación No. 4 Transferencia de calor por conducción para un sistema compuesto. ....	17
Ecuación No. 5 Energía solar total que incide sobre unidad de área de una superficie horizontal sobre el piso. ....	23
Ecuación No. 6 Absortancia. ....	30
Ecuación No. 7 Reflectancia. ....	30
Ecuación No. 8 Transmitividad. ....	30
Ecuación No. 9 Razón máxima de radiación emitida. ....	32
Ecuación No. 10 Radiación emitida por superficies reales.....	32
Ecuación No. 11 Ley de Stefan-Boltzmann.....	33
Ecuación No. 12 Rendimiento de la pintura m <sup>2</sup> /L. ....	57
Ecuación No. 13 Determinación de área.....	91
Ecuación No. 14 Determinación de un lado del cuadrado. ....	91
Ecuación No. 15 Determinación de la altura de la caja. ....	92
Ecuación No. 16 Determinación de altura total interna de la caja incluyendo plafonera y bombilla. ....	92
Ecuación No. 17 Resistencia térmica.....	93
Ecuación No. 18 Determinación de promedio. ....	94
Ecuación No. 19 Propagación de error de sumas y restas. ....	94
Ecuación No. 20 Propagación de error de las multiplicaciones y divisiones. ....	94

## RESUMEN

En el presente trabajo se propone el desarrollo de una pintura a base de sulfato de bario como aislante térmico para evaluar la efectividad del aislamiento a la radiación. Se buscaba experimentar una forma nueva de enfriamiento radiativo pasivo a través de pintura de exterior con uso de sulfato de bario como pigmento. Para esto se desarrollaron muestras de pintura con diferentes concentraciones de sulfato de bario y se realizó análisis fisicoquímico para caracterizar la pintura.

Se realizaron mediciones de temperatura luego de 1 hora de exposición al sol para cada muestra desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario. Además, se realizaron mediciones de temperatura durante todo el día de la pintura con mejores características fisicoquímicas y con los mejores resultados de temperatura, la cual fue la muestra 6. Esto se comparó con la pintura comercial de la misma base para poder determinar una curva de temperaturas y compararlas con una exposición solar más prolongada.

Se realizó también un análisis de transferencia de calor por conducción en la lámina de la pintura desarrollada y la pintura comercial para observar el efecto del mismo. Se obtuvo que para la pintura desarrollada el calor de conducción máximo fue de  $4484.28 \text{ W/m}^2$  y para la pintura comercial el calor máximo de conducción fue de  $28975.37 \text{ W/m}^2$ . Seguidamente, se determinó la emisividad de la pintura desarrollada, la cual fue de  $0.84 \pm 0.1$  y se comparó con la de una pintura comercial la cual fue de  $0.89 \pm 0.1$ . Con lo que se puede determinar que el sulfato de bario utilizado como pigmento en la pintura, es un aislante efectivo de la radiación en la pintura formulada.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el calentamiento global se ha hecho notar en los últimos años, viéndose reflejado en el cambio climático. Esto se debe principalmente por las emisiones de gases GEI, los cuales forman el efecto invernadero y causan un aumento en la temperatura global. Para mantener el confort de la población, en cuanto a sensación térmica, se han propuesto técnicas de enfriamiento pasivo en construcciones como casas, edificios y oficinas. De esta forma se reduce el uso de climatización activa y se minimiza el consumo energético (Bardales, Castañón y Herrera, 2019).

En Guatemala, la temperatura media anual ha aumentado al menos 1°C, la precipitación se ha vuelto más intensa y la distribución anual de la misma ha cambiado. En general, los eventos climáticos extremos en el país han aumentado y se han evidenciado debido al cambio climático (Bardales, et al., 2019). En cuanto a proyecciones, se espera un aumento de temperatura de entre tres y seis grados para finales de siglo y se prevé una disminución de entre el 10 al 30% de la precipitación a nivel nacional (Bardales, Rivera y Ochoa, 2019).

Para mantener ambientes frescos, durante los días calurosos, se han propuesto técnicas de enfriamiento activo y pasivo. Dentro de las técnicas activas se encuentran los sistemas de aire acondicionado que se utilizan para controlar la temperatura, contenido de humedad, la circulación y la pureza del aire, con el fin de lograr los efectos deseados. Para el enfriamiento pasivo, se ha investigado sobre la conservación de energía y su utilización en edificios, mediante fuentes alternativas de energía y tecnologías específicas que se pueden utilizar para satisfacer parcialmente las necesidades de refrigeración en edificios y hogares. Las principales técnicas son el control solar, moderación térmica y ventilación natural (Herrera, 2014).

Se busca controlar la radiación que entra a la edificación. Una opción es el aislamiento por la parte exterior y esto se logra con el material de construcción y con los recubrimientos utilizados (Herrera, 2014). Una solución son las pinturas termoaislantes, que son pinturas enfocadas a crear una barrera que aísla, bloqueando la transferencia de calor entre materiales. Esta pintura aplicada en exteriores aísla reflejando el calor transmitido por radiación, impidiendo así que las superficies de los materiales de construcción se calienten y transmitan el calor.

En general, la pintura está compuesta principalmente por resina, la cual aporta a la pintura propiedades específicas como brillo, durabilidad, adhesión y resistencia. Luego están los diluyentes que se utilizan para disolver y reducir la viscosidad del aglutinante. Por último, están los pigmentos, los cuales dan el color a la pintura (García, 2016).

Dentro de los posibles pigmentos utilizados, se encuentra el sulfato de bario. Este tiene la característica de aportar una mayor reflectancia solar. Esto se debe a que el sulfato de bario tiene diferentes tamaños de partícula, por lo que se tiene una mayor gama para reflejar el espectro de luz solar. Es por esto que se busca probar si la pintura blanca a base de sulfato de

bario, aplicada en exterior cumple con la función de aislante radiativo (Li, Peoples, Yao y Ruan, 2020).

## II. ANTECEDENTES

En la investigación realizada por Luis Carlos Herrera Sosa de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, sobre la eficiencia de estrategias de enfriamiento pasivo en clima cálido seco, se presentan los resultados de una evaluación de la eficiencia de enfriamiento que se alcanza con la aplicación en techos estanque de seis técnicas de enfriamiento pasivo. El procedimiento consistió en monitorear en campo, durante el verano de 2012, módulos experimentales con las técnicas pasivas de enfriamiento: evaporativo indirecto (EEI), protección solar (PS) y enfriamiento radiativo nocturno (ERN), apoyadas con aislamiento térmico (AT) y masa térmica (MT). El módulo experimental se comparó con un módulo de control de iguales características constructivas, dimensiones y orientación. Con los resultados obtenidos en campo se calculó el potencial de enfriamiento medio de cada una de las técnicas pasivas aplicadas para determinar su eficiencia de enfriamiento (EF). Los resultados indicaron que todas las técnicas de enfriamiento pasivo aplicadas tienen capacidad de enfriamiento. La técnica pasiva con mayor potencial de enfriamiento medio fue la EEI+AT+ERN con  $822.89 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$ , le sigue la EEI+PS con  $764.19 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$  y la EEI+AT+ERN+MT con  $532.78 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$  (Herrera, 2014).

Un estudio realizado en el 2014 reveló que la pintura compuesta por microesferas cerámicas aumentó la aislación de un edificio, lo que podría contribuir a reducir los costos de energía relativos a la calefacción y al enfriamiento. En dicho experimento, se emplearon tres cajas de hierro cuyos interiores se revistieron con pintura de microesferas cerámicas, con pintura común, y con pintura altamente reflectiva. Los valores de resistencia térmica (R) arrojaron  $0,0100 \text{ (K}\cdot\text{m}^2/\text{W)}$ ,  $0,008 \text{ (K}\cdot\text{m}^2/\text{W)}$  y  $0,0016 \text{ (K}\cdot\text{m}^2/\text{W)}$  respectivamente. Por lo tanto, la caja recubierta con pintura térmica presentó el valor R más elevado, la caja recubierta con pintura reflectiva mostró el segundo valor más alto, y la caja recubierta con pintura común alcanzó el menor valor R. La pintura térmica logró 12,4 veces más aislamiento que la pintura común. También se demostró que existe un 16% menos de pérdida calórica con la pintura térmica en comparación con la pintura común (Oda, 2014).

La intensidad lumínica en un día promedio en Guatemala puede variar según la época del año y la ubicación geográfica exacta. En general, Guatemala se encuentra en una región tropical con una alta cantidad de luz solar durante todo el año. Según los datos del Servicio Meteorológico Nacional de Guatemala, la intensidad lumínica promedio durante el día en la ciudad de Guatemala (la capital del país) es de alrededor de 5000 a 6000 lux en días despejados. Sin embargo, esto puede variar significativamente según la hora del día, la época del año y las condiciones climáticas específicas. Es importante tener en cuenta que la intensidad lumínica en un área determinada también puede verse afectada por factores como la altitud, la nubosidad, la contaminación y la reflectividad de las superficies circundantes. Por lo tanto, los valores de intensidad lumínica pueden variar significativamente según la ubicación exacta dentro de Guatemala.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. General**

1. Desarrollar y evaluar una pintura blanca a base de sulfato de bario como aislante para determinar si es aplicable a aislamientos térmicos en hogares.

#### **B. Específico**

1. Formular una pintura utilizando base de sulfato de bario para determinar su capacidad de aislamiento a la radiación
2. Elaborar la pintura y caracterizarla por medio de pruebas fisicoquímicas para determinar si es aplicable a exteriores y compararla con pinturas comerciales de base tradicional.
3. Desarrollar un dispositivo que permita la medición de absorción de energía radiactiva y utilizarlo para comprobar la efectividad de la pintura formulada.

## IV. JUSTIFICACIÓN

La temperatura media de la atmósfera, en el transcurso de los últimos 100 años, ha registrado un calentamiento entre 0.3 y 0.6 °C. Gracias a esto, ha aumentado de 1 a 2 mm/año el nivel del mar en diferentes zonas del planeta. Se prevé que las temperaturas para finales de siglo (2090-2099), respecto a 1980-1999, aumentarán entre 1,8 y 4 °C, según los escenarios (0,1 °C/década, al menos). El nivel del mar al final del siglo XXI habrá aumentado entre 18 y 59 centímetros, tanto por la expansión del agua por el calor como por la fusión de los glaciares continentales (Olivo, Soto-Olivo, 2010).

En Guatemala, se ha visto implementación de normas, como lo es la reducción de gases GEI, para minimizar este impacto. De acuerdo con el “Acuerdo de País”, con el cual se propuso una Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), Guatemala se comprometió a reducir un 11.2% las emisiones de GEI proyectadas para el año 2030 (Hernández, 2012).

Cada día las altas temperaturas se hacen notar, así como también los eventos extremos (sequías, huracanes, inundaciones, heladas, etc.) que se han intensificado en las últimas décadas. Según estudios la temperatura ha aumentado 1.5 °C en promedio desde 1960. Para finales de este siglo, se espera un aumento de temperatura entre 3 y 6 °C y se prevé una disminución del 30 % de las lluvias en el país (CNCC, 2016). Con un calentamiento global de 1,5 °C, se producirá un aumento de las olas de calor, se alargarán las estaciones cálidas y se acortarán las estaciones frías. Mientras que con un calentamiento global de 2 °C los episodios de calor extremo alcanzan con mayor frecuencia umbrales de tolerancia críticos para la agricultura y la salud (Castillo, 2022).

Guatemala es uno de los diez países ambientalmente más vulnerables al cambio climático a nivel mundial, con más del ochenta por ciento del PIB producido en zonas de riesgo a desastres y un alto porcentaje de su población en riesgo climático directo. De esta situación deviene la necesidad de actuar de manera inmediata para reducir los riesgos presentes y venideros de los desastres naturales derivados del calentamiento global (Hernández, 2012).

Para mitigar los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas es necesario crear e implementar estrategias. Si se quiere reducir los GEI y ayudar a frenar el cambio climático, es importante usar tecnologías que disminuyan el uso de combustibles fósiles y reduzcan de manera pasiva la necesidad de enfriamiento (CNCC, 2016).

Dentro de estas tecnologías, las pinturas son parte clave en las viviendas y edificaciones, con lo que pensar en una pintura que pueda ser aislante, es una forma de contribuir en el problema. Es por esto que en este trabajo se busca desarrollar una pintura blanca a base de sulfato de bario con el fin de experimentar si la pintura sirve como un aislante ante el efecto radiativo y además funciona como un aislante conductivo (García, 2016).

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Calentamiento global

En climatología, el calentamiento global es el aumento, a largo plazo, de la temperatura atmosférica media del sistema climático debido a la intensificación del efecto invernadero. Éste, es un aspecto principal del cambio climático actual, demostrado por la medición directa de la temperatura y varios efectos del calentamiento global visibles. Se han reportado históricamente variaciones en el clima. Sin embargo, en la actualidad se reportan cambios desmedidos, los cuales no pueden ser explicados por causas naturales. Es por esto que se le atribuye a la actividad humana de los últimos tiempos (Zelanski, y Fisher, 2001).

Los términos calentamiento global y cambio climático, se han usado indistintamente. De forma más específica, el calentamiento global es el incremento global en las temperaturas de superficie y su aumento proyectado, causado principalmente por las actividades humanas. Por otro lado, el cambio climático, incluye tanto el calentamiento global como sus efectos en el clima (Zelanski, et al., 2001).

El calentamiento global se da por la liberación de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Este conjunto de gases actúa como el vidrio de un invernadero, permite el paso de luz solar pero mantiene el calor en su interior. La captación de calor en la troposfera se denomina Efecto Invernadero, y los gases que lo producen reciben el apelativo de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Zelanski, et al., 2001).

#### 1. Gases de efecto invernadero

Los GEI son compuestos con una permanencia en la atmósfera muy larga, debido a su estabilidad química. Dentro de estos gases se encuentran el CO<sub>2</sub>, metano, óxidos nitrosos, gases fluorados, entre otros. Aunque la concentración de estos compuestos en la atmósfera es baja, poseen un gran poder como GEI y además causan la destrucción del ozono estratosférico. Los gases fluorados, como el clorofluorocarbono (CFC), se utilizan en sistemas de refrigeración, aire acondicionado y extintores de espuma. Se destruyen eventualmente en la estratósfera mediante complejas reacciones fotoquímicas (Zelanski, et al., 2001).

Los GEI llegan a la primera capa de la atmósfera (la tropósfera), donde absorbe radiación infrarroja emitida desde la superficie de la Tierra. Esta radiación se irradia o se devuelve a su superficie, haciendo que en el ambiente se sienta calor y este efecto tiene una repercusión muy significativa sobre el clima (Zelanski, et al., 2001).

Por sí solo, el efecto invernadero es beneficioso, ya que ha contribuido a mantener la temperatura media del planeta en unos 15 °C durante siglos. Sin estos gases, se calcula que la temperatura superficial de la Tierra estaría alrededor de -18°C (Zelanski, P. y Fisher, M.,

2001). Como consecuencia del desarrollo industrial, ha ido creciendo el valor de CO<sub>2</sub> en la tropósfera y es por esto que se ha incrementado la radiación infrarroja que se devuelve a la Tierra y por ende, el calentamiento global (Zelanski, et al., 2001).

## 2. Cambio climático

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) define el cambio climático como: “Cualquier cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”.

Bajo este contexto una “adaptación al cambio climático” es necesaria para aplacar sus efectos el IPCC, lo explica como: “Ajustes en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos”. Esto quiere decir que la adaptación al cambio climático son las acciones que se toman por parte de una población para contrarrestar los efectos causados por las variaciones en el clima; lo que implica reducir su vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia de los mismos (IPCC, 2007).

Dentro de las posibles soluciones que se plantean para enfrentar el calentamiento global incluyen, la mitigación mediante la reducción de las emisiones, la adaptación a sus efectos, la construcción de sistemas resilientes a sus impactos y una posible ingeniería climática futura. La mayoría de los países son parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cual tiene como objetivo, prevenir un cambio climático antrópico peligroso. La CMNUCC ha adoptado políticas que pretenden la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y ayuda a la adaptación del calentamiento global. Se ha acordado que se necesitan grandes reducciones en las emisiones y que el calentamiento global futuro debe limitarse por debajo de 2°C con respecto al nivel preindustrial (IPCC, 2007).

### B. Isla urbana

La isla urbana es un fenómeno climático que describe el aumento de temperatura en zonas urbanas en comparación con sus alrededores rurales. Esto se debe a la presencia de grandes cantidades de materiales de construcción y pavimentos que retienen el calor durante el día y lo liberan durante la noche, creando un efecto de retención de calor en la ciudad. Además, la presencia de edificios altos y la falta de vegetación también contribuyen al aumento de la temperatura en la isla urbana (García, 2018).

Como resultado, la isla urbana puede contribuir al calentamiento local y aumentar la necesidad de enfriamiento artificial en las ciudades. También puede tener un impacto en la calidad del aire, la biodiversidad y los patrones de precipitación (García, 2018).

La isla urbana se puede prevenir mediante un enfoque integrado que incluya medidas urbanísticas, arquitectónicas y ambientales. Algunas medidas que se pueden tomar para prevenir la isla urbana incluyen:

- 1) Planificación urbana: la planificación urbana sostenible y la incorporación de zonas verdes y áreas de recreación en la ciudad pueden ayudar a reducir el impacto de la isla urbana.
- 2) Edificios verdes: la construcción de edificios con materiales y tecnologías que promuevan la eficiencia energética y la reducción de la temperatura ambiental puede ayudar a prevenir la isla urbana.
- 3) Infraestructura verde: la incorporación de parques y jardines, techos verdes y paredes verdes en las ciudades puede ayudar a reducir la temperatura ambiental y prevenir la isla urbana.
- 4) Red de transporte sostenible: la implementación de una red de transporte sostenible, que promueva el uso del transporte público y la bicicleta, puede ayudar a reducir la contaminación y prevenir la isla urbana.
- 5) Campañas de concientización: las campañas de concientización para promover prácticas sostenibles en la vida cotidiana, como el uso de energía renovable y la reducción del uso del automóvil, pueden ayudar a prevenir la isla urbana.

(García, 2018).

### C. Confort térmico

El confort térmico es la sensación de bienestar termal que experimenta una persona en su entorno. Se refiere a la combinación de temperatura, humedad, velocidad del aire, radiación y otros factores ambientales que influyen en la percepción de la temperatura. El confort térmico es importante en la construcción de edificios, ya que afecta la calidad de vida de sus habitantes y su productividad en el trabajo. El objetivo es lograr un equilibrio entre el ahorro energético y el confort térmico, para lograr un edificio sostenible y cómodo (Rincón-Martínez, J., 2022).

Las temperaturas de confort se basan en el equilibrio que debe existir entre el cuerpo humano y el ambiente, ya que para sentir comodidad el organismo debe perder aproximadamente 50 W/m<sup>2</sup> de superficie corporal. Esto ocurre entre los 18°C y los 24°C, determinando el rango de temperaturas de confort. El movimiento del aire por otra parte hace que dichas temperaturas puedan variar un poco, dando sensación de frescura durante los meses de verano, y aumentando las pérdidas térmicas del cuerpo humano en los meses de invierno (Rincón-Martínez, J., 2022).

Otro factor que incide en el confort térmico es la humedad relativa del aire, porcentaje de humedad que tiene el aire respecto al máximo que admitiría. Para tener condiciones de confort esta debe fluctuar entre un 35% y 75%, para mayores humedades la sudoración se dificulta, haciendo que la temperatura corporal aumente, causando incomodidad. Por otro lado, para humedades muy bajas se produce resequedad en la piel. Cuando no se logran estas condiciones por sí solas dentro de la vivienda se debe recurrir a energías externas, como pueden ser: eléctrica, gas, parafina, leña, etc. que permitan llegar a los parámetros de confort (Rincón-Martínez, J., 2022).

## D. Enfriamiento pasivo

El enfriamiento pasivo es una técnica de climatización de edificios que utiliza la arquitectura y los materiales naturales para mantener la temperatura interior sin la necesidad de sistemas electrónicos y consumo de energía. Se basa en el uso de la ventilación cruzada, la sombra, la absorción y liberación de calor por materiales naturales, la conductividad térmica, la convección y la radiación para regular la temperatura interior. Ejemplos incluyen la construcción de techos verdes, la colocación de persianas, la utilización de aislantes térmicos, entre otros. El objetivo es reducir el consumo de energía y mejorar la calidad ambiental de los edificios (Herrera, 2014).

Las técnicas de enfriamiento pasivo incluyen métodos que permiten reducir la temperatura sin la necesidad de equipos mecánicos o electrónicos. Algunos ejemplos de técnicas de enfriamiento pasivo incluyen:

- 1) Ventilación cruzada: consiste en la circulación de aire fresco a través de un edificio, mediante la apertura de ventanas en diferentes partes de la casa.
- 2) Techos verdes: consiste en el uso de vegetación para reducir la temperatura en un edificio.
- 3) Enfriadores de agua: consiste en la circulación de agua a través de un intercambiador de calor para reducir la temperatura ambiente.
- 4) Aislamiento: consiste en la colocación de materiales aislantes para mantener la temperatura interna del edificio.
- 5) Persianas: consiste en la colocación de persianas o cortinas para bloquear los rayos solares y reducir la temperatura en el interior de un edificio.
- 6) Paredes de piedra: consiste en la construcción de paredes de piedra para ayudar a mantener una temperatura fresca y constante en el interior de un edificio.
- 7) Sombreado: consiste en el uso de árboles y estructuras para bloquear los rayos solares y reducir la temperatura en un edificio.

(Herrera, 2014).

Estas técnicas de enfriamiento pasivo son efectivas para mantener la temperatura en un edificio sin la necesidad de sistemas mecánicos, lo que reduce los costos y la huella de carbono (Herrera, 2014).

### 1. Ventilación cruzada

La ventilación cruzada es una técnica de enfriamiento pasivo que se basa en el intercambio de aire fresco entre dos ambientes a través de aberturas diseñadas en paredes opuestas. La cantidad de disminución de temperatura que se logra con la ventilación cruzada depende de muchos factores, como la velocidad del viento, la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, la humedad relativa y la eficiencia de los sistemas de ventilación. En general, se puede esperar una disminución de temperatura de alrededor de 2 a 5 grados Celsius en el interior de un edificio con una buena ventilación cruzada. Sin embargo, es importante

tener en cuenta que el enfriamiento con ventilación cruzada es más efectivo en climas cálidos y secos y puede ser menos eficaz en climas húmedos o con vientos fríos (Aguilar, 2021).

## 2. Techos verdes

El enfriamiento pasivo de techos verdes es una técnica que utiliza la vegetación para reducir la temperatura de los edificios y mejorar la calidad del aire interior. La vegetación actúa como un aislante natural, proporciona sombra y también evapora el agua, lo que ayuda a enfriar el aire (Alpuche, Moreno, Ochoa, Marincic, 2010).

Además, los techos verdes también mejoran la calidad del aire interior al reducir la contaminación y aumentar la humedad. También contribuyen a la mitigación del cambio climático y a la conservación de la biodiversidad. Para lograr un efecto de enfriamiento más efectivo, es importante seleccionar adecuadamente las especies de vegetación y diseñar el techo verde de manera que maximice sus beneficios (Alpuche, et al., 2010).

## 3. Enfriadores de agua

El enfriamiento pasivo de enfriadores de agua se basa en el uso de sistemas de refrigeración naturales para mantener el agua fresca y a una temperatura adecuada para su uso. Un ejemplo de esto es utilizar paneles solares para calentar el agua, y luego utilizar técnicas de enfriamiento pasivo, como la ventilación cruzada o la radiación nocturna, para reducir la temperatura del agua calentada (Flores y Lesino, 2010).

Además, también se pueden utilizar métodos de enfriamiento como la circulación de agua por tubos subterráneos o la inmersión de tubos en pozos o fuentes naturales de agua fría. Estos métodos permiten mantener el agua fresca y a una temperatura adecuada sin la necesidad de un sistema de refrigeración activo (Flores y Lesino, 2010).

## 4. Aislamiento

El enfriamiento pasivo de aislantes se refiere a la utilización de materiales aislantes para reducir la cantidad de calor que entra en un edificio. Esto se logra mediante la mejora de la eficiencia energética de la construcción y la reducción de la cantidad de energía necesaria para climatizar el edificio. Los materiales aislantes, como la lana de roca o el poliestireno, ayudan a mantener el calor fuera del edificio en verano y retenerlo en invierno, lo que puede ayudar a disminuir los costos energéticos y mejorar la eficiencia (Universidad Católica de Colombia, 2014).

### a. Pinturas termoaislantes

Una pintura aislante a la radiación es un tipo de revestimiento que se utiliza en la construcción para reducir la entrada de radiación térmica en un edificio. Esta pintura funciona como un aislante térmico, ayudando a mantener una temperatura constante dentro del edificio, reduciendo el uso de sistemas de climatización y ahorrando energía. Esta pintura se compone de materiales que tienen un bajo coeficiente de conductividad térmica y pueden ser aplicados

en la fachada, tejados y otros elementos del edificio que estén expuestos a la radiación solar directa (González y Monteza, 2021).

## 5. Persianas

El enfriamiento pasivo de persianas es una técnica de enfriamiento que consiste en utilizar persianas para regular la entrada de luz y calor en un edificio. Esto se hace con el objetivo de disminuir la carga térmica en el interior del edificio y, por lo tanto, reducir la necesidad de sistemas de refrigeración artificiales. Las persianas pueden ser de diferentes materiales y tener diferentes características, como su capacidad para reflejar la radiación solar y su habilidad para proporcionar sombra. Además, pueden ser controladas manualmente o de forma automática, para asegurar una regulación efectiva y adecuada del enfriamiento pasivo (Herrera, 2014).

## 6. Paredes de piedra

El enfriamiento pasivo de paredes de piedra es una técnica que consiste en utilizar las propiedades aislantes y de baja conductividad térmica de la piedra para mantener la temperatura dentro de un edificio más fresca en verano y más cálida en invierno. Esto se logra mediante la construcción de paredes de piedra gruesa y la inserción de aislamientos térmicos en la parte interior o exterior de las paredes. La piedra retiene el calor durante el día y lo libera de forma gradual durante la noche, lo que ayuda a mantener una temperatura interior estable sin la necesidad de sistemas de refrigeración o calefacción (Herrera, 2014).

## 7. Sombreado

El enfriamiento pasivo de paredes de sombreado es una técnica que busca reducir el aumento de temperatura en un espacio cerrado mediante el uso de estructuras que proporcionan sombra a las paredes. Estas estructuras pueden ser techos, toldos, pantallas o cualquier otro elemento que bloquee la radiación solar directa antes de que llegue a las paredes. De esta manera, se reduce la cantidad de calor que se transmite a través de las paredes, disminuyendo la temperatura interior del espacio y mejorando su confort térmico (Herrera, 2014).

## 8. Enfriamiento radiativo

El enfriamiento radiativo es una tecnología de enfriamiento pasivo que ofrece grandes soluciones para reducir el costo de enfriamiento de un espacio, combatir el efecto de isla urbana y disminuir el calentamiento global (Peng et al., 2012).

Las áreas urbanas cuentan con condiciones climáticas particulares donde varios factores son tomados en cuenta. Las ciudades están constituidas por cañones urbanos de diversa configuración; estas estructuras hacen que se dificulte el flujo libre, disminuyendo la ventilación y el factor de visión de cielo (SVF). Éste término es un parámetro indispensable para medir el intercambio energético de la radiación entre la ciudad y la atmósfera (Peng et al., 2012).

Las superficies urbanas tienen valores de albedo menores que el medio natural, esto tiene como consecuencia una mayor absorción de energía y de almacenamiento de calor. El albedo se define como el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates. Al alterar el balance térmico en una zona urbana, su temperatura aumenta en relación a las temperaturas del medio rural, éste fenómeno se denomina isla de calor urbana (Alchapar, Correa, Lesino, 2012).

El enfriamiento radiativo es resultado del balance entre la energía emitida y recibida por una superficie. Esta superficie recibe energía solar en una longitud de onda corta (ultravioleta, visible, infrarrojo cercano) y radiación atmosférica en longitudes de onda larga, correspondiente a la radiación infrarroja media y lejana. Una fracción variable de la radiación recibida es absorbida mientras que la radiación restante es reflejada. Un cuerpo puede emitir un máximo de energía equivalente a la de una superficie negra con la misma temperatura (288.1 °K gris oscuro, 303.1 °K gris claro). Si la energía emitida es superior a la energía absorbida, aparece el fenómeno conocido como enfriamiento radiativo pasivo (Peng et al., 2012).

Al cruzar la atmósfera, la radiación solar se somete a fenómenos de reflexión, refracción, absorción y difusión por los diversos gases atmosféricos en un grado variable en función de la frecuencia. La atmósfera terrestre actúa como un filtro. La parte extrema de la atmósfera absorbe parte de las radiaciones reflejando el resto directamente al espacio exterior. Otros elementos que actúan como filtro son el dióxido de carbono, las nubes y el vapor de agua que a veces la convierten en radiación difusa (Alchapar, et al., 2012).

Durante el día, los materiales que componen las superficies exteriores son responsables de gran parte del incremento de temperatura de un área urbana. Esto afecta tanto la condición diurna de enfriamiento, como se destacó anteriormente, como la nocturna debido a la combinación entre el almacenamiento térmico de radiación solar y las propiedades ópticas de los materiales. Al disminuir el porcentaje de radiación solar absorbida, la temperatura superficial de los elementos constructivos exteriores puede ser reducida y por consiguiente las cargas de calor minimizadas (Alchapar, et al., 2012).

La solución más sencilla para reducir la absorción de radiación solar es manejar el albedo de los materiales y de esta forma conservar las superficies más frescas. Además, como los intercambios radiativos de onda larga son importantes dentro de un cañón urbano es ideal el uso de materiales con alta emisividad. Como resultado estos materiales son buenos emisores de energía de onda larga y liberan la energía que ha sido absorbida como radiación de onda corta. Es decir, que sus temperaturas superficiales son menores y contribuyen a la reducción de la temperatura ambiente a través de mecanismos convectivos (Santamouris et al., 2011) (Alchapar, et al., 2012).

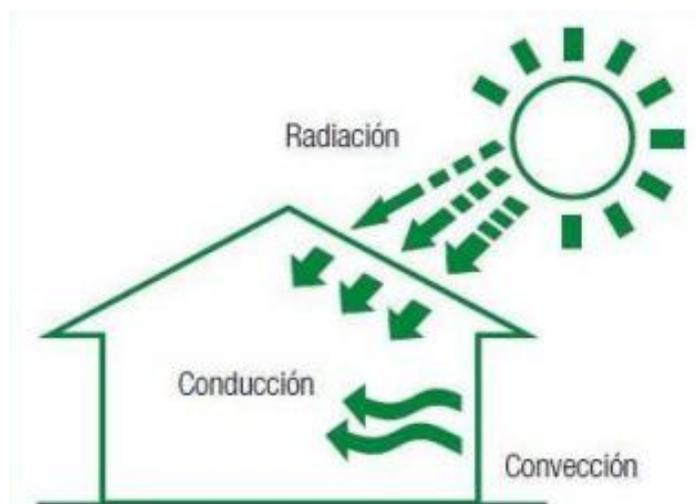
## E. Transferencia de calor

El calor se define como la energía asociada con el movimiento aleatorio de los átomos y moléculas. Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor. La determinación de las razones de transferencia del calor hacia un sistema y desde éste y, por lo tanto, los tiempos de enfriamiento o de calentamiento, así como de la variación de la temperatura, son el tema de la transferencia de calor (Cengel, 2011).

La transferencia de calor se ocupa de los sistemas en los que falta el equilibrio térmico y, por lo tanto, existe un fenómeno de no equilibrio. El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para la transferencia de calor. A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor. Todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja (Cengel, 2011).

Hay tres maneras principales de la transferencia de calor: conducción, convección y radiación. La conducción ocurre cuando el calor se mueve a través de un material sólido sin que el material mismo se mueva. La convección es el movimiento de un fluido debido a una diferencia de temperatura. La radiación es el proceso de transferencia de calor en el que el calor se mueve en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio sin necesidad de medio material (Cengel, 2011).

Figura No. 1 Mecanismos de transferencia de calor en vivienda



(Cengel, 2011).

## 1. Convección

La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento (Cengel, 2011).

Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. La transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es suficientemente grande como para vencer la resistencia de ese aire al movimiento y, por consiguiente, para iniciar corrientes naturales de convección (Cengel, 2011).

La convección es un modo de transferencia de calor en el que el calor se mueve de un lugar a otro debido al movimiento de fluidos. En la convección, el fluido caliente asciende, mientras que el fluido frío desciende, lo que lleva a una circulación constante de calor a través del fluido. Este proceso se utiliza en aplicaciones como el enfriamiento de motores de automóviles, la calefacción de edificios y la regulación de la temperatura en sistemas de procesamiento de alimentos (Cengel, 2011).

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como:

Ecuación No. 1 Convección.

$$Q_{conv} = h * A_s * (T_s - T) \quad (1)$$

Donde:

h: coeficiente de transferencia de calor por convección,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$A_s$ : área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección

$T_s$ : temperatura de superficie

T: temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie

\*En la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido.

(Cengel, 2011).

El coeficiente de transferencia de calor por convección no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que es determinado de forma experimental y su valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como lo son la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del mismo y la velocidad (Cengel, 2011).

## 2. Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos, la conducción se debe a colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Cengel, 2011).

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él (Cengel, 2011).

La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa como se muestra a continuación.

Ecuación No. 2 Conducción de calor a través de una capa plana.

$$Q_{cond} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{x} = \frac{-kA\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

donde la constante de proporcionalidad  $k$  es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor (Cengel, 2011).

En el caso límite en que  $x \rightarrow 0$ , la ecuación se reduce a la forma diferencial.

Ecuación No. 3 Ley de Fourier para la conducción de calor

$$Q_{cond} = \frac{-kA \cdot dt}{dx} \quad (3)$$

la cual se llama ley de Fourier de la conducción de calor. Aquí,  $dT/dx$  es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a x). La relación dada indica que la razón de conducción del calor

en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El área A de transferencia de calor siempre es normal (o perpendicular) a la dirección de esa transferencia (Cengel, 2011).

La Ley de Fourier establece que k es independiente del gradiente de temperatura (dT/dx), pero no necesariamente de la temperatura misma. En otras palabras,  $k = f(T)$  pero no de una manera fuerte. Para rangos pequeños de Temperatura, la Conductividad Térmica de un material puede considerarse constante. Para rangos mayores de T, la conductividad térmica puede ser aproximada por la ecuación lineal:

$$k = a + b T$$

en donde a y b son constantes empíricas y pueden hallarse en Tablas (Cengel, 2011).

En Estado Estable, no existe Acumulación de Energía, por lo que:

$$\text{Energía que Entra} = \text{Energía que Sale}$$

El caso más simple de Conducción en Estado Estable es el de una placa de material, donde se asume que:

- k es independiente de la Temperatura
- El Área de la Pared es muy grande en comparación con su grosor, de tal forma que las pérdidas de calor por las orillas son despreciables
- Cada superficie externa es isotérmica
- La dirección del Flujo de Calor es perpendicular a la pared
- No hay acumulación ni reducción de calor dentro de la pared

Por lo tanto, el Flujo de Calor es constante a lo largo del trayecto del flujo.

Se obtiene entonces la forma útil para cálculos directos:

$$q = - \frac{k * A(T_2 - T_1)}{x_2 - x_1}$$

(Cengel, 2011).

Cuando k varía linealmente con la Temperatura, esta ecuación todavía puede ser usada directamente, pero empleando un valor promedio de k, que puede ser determinado de varias formas:

- Tomando el promedio de los valores individuales de k para las dos superficies (si se conocen las k a las temperaturas de las dos superficies), o bien
- Calculando el promedio de las dos temperaturas y usando el valor de k a esa Temperatura promedio, o también

- Interpolando linealmente el valor de  $k$  a partir de  $k$  dadas para otras temperaturas del mismo material. Esta última ecuación puede también ser escrita así:

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T}{R}$$

en donde  $R$  es:  $\Delta x / k$ , y se conoce como “Resistencia Térmica” del sólido entre los dos puntos. El inverso de esta relación:  $k / \Delta x$ , se denomina “Conductancia Térmica”. Estos conceptos son análogos al flujo eléctrico (Cengel, 2011).

Ecuación No. 4 Transferencia de calor por conducción para un sistema compuesto.

$$q = \frac{A(\Delta T_{global})}{\sum R_{térmicas}} \quad (4)$$

(Cengel, 2011).

#### a. Conductividad térmica

La constante de proporcionalidad ( $k$ ), en la ecuación (3) se llama conductividad térmica, es una propiedad de los materiales que describe su habilidad para transferir calor. Se expresa en unidades como vatio por metro kelvin ( $W / m \cdot K$ ) y varía dependiendo del material. Los materiales con una alta conductividad térmica, como el cobre o el aluminio, son buenos conductores de calor y se utilizan en aplicaciones en las que es necesario transferir calor de forma eficiente. Los materiales con una baja conductividad térmica, como la espuma de poliestireno, se utilizan a menudo como materiales aislantes para reducir la pérdida de calor (Cengel, 2011).

La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante (Cengel, 2011).

La temperatura es una medida de las energías cinéticas de las partículas, como las moléculas o los átomos de una sustancia. En un líquido o gas, la energía cinética de las moléculas se debe a su movimiento aleatorio de traslación, así como a sus movimientos de vibración y rotación. Cuando chocan dos moléculas que poseen energías cinéticas diferentes, parte de la energía cinética de la molécula más energética (la de temperatura más elevada) se transfiere a la menos energética (la de temperatura más baja), de manera muy semejante a cuando chocan dos bolas elásticas de la misma masa a diferentes velocidades, parte de la energía cinética de la bola más rápida se transfiere a la más lenta. Entre más alta es la

temperatura, más rápido se mueven las moléculas, mayor es el número de las colisiones y mejor es la transferencia de calor (Cengel, 2011).

### 1) Conductividad en gases

La teoría cinética de los gases predice, y los experimentos lo confirman, que la conductividad térmica de los gases es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura termodinámica  $T$  e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa molar  $M$ . Por lo tanto, la conductividad térmica de un gas crece al aumentar la temperatura y al disminuir la masa molar (Cengel, 2011).

### 2) Conductividad en líquidos

Las conductividades térmicas de los líquidos suelen encontrarse entre las de los sólidos y las de los gases. Normalmente, la conductividad térmica de una sustancia alcanza su valor máximo en la fase sólida y el mínimo en la fase gaseosa. A diferencia de los gases, las conductividades térmicas de la mayor parte de los líquidos decrecen al incrementarse la temperatura, constituyendo el agua una notable excepción. Como en el caso de los gases, la conductividad de los líquidos disminuye al aumentar la masa molar. Los metales líquidos como el mercurio y el sodio presentan conductividades térmicas elevadas y resultan muy apropiados para usarse cuando se desea una gran razón de transferencia de calor hacia un líquido, como en las plantas nucleares de generación eléctrica (Cengel, 2011).

### 3) Conductividad en sólidos

En los sólidos la conducción del calor se debe a dos efectos: las ondas reticulares de vibración inducidas por los movimientos de vibración de las moléculas, colocadas en posiciones más o menos fijas de una manera periódica conocida como red cristalina, y la energía transportada por medio del flujo libre de electrones en el sólido. La conductividad térmica de un sólido se obtiene al sumar la componente reticular y la electrónica. Las conductividades térmicas más o menos elevadas de los metales puros se deben principalmente a la componente electrónica. La componente reticular de la conductividad térmica depende con intensidad de la manera en que las moléculas están dispuestas. Por ejemplo, el diamante, que es un sólido cristalino intensamente ordenado, tiene la conductividad térmica conocida más elevada a la temperatura ambiente (Cengel, 2011).

#### a) Conductividad alta

Algunos de los materiales con una alta conductividad térmica incluyen:

- 1) Diamante: El diamante es el material más conductor térmico conocido, con una conductividad térmica de aproximadamente  $2,000 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ .
- 2) Grafito: El grafito es un buen conductor térmico, con una conductividad térmica de aproximadamente  $1,000 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ .
- 3) Metales: Metales, como el cobre y el aluminio, son buenos conductores térmicos, con conductividades térmicas que varían entre  $100$  y  $400 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ .

- 4) Aleaciones: Algunas aleaciones, como la aleación de cobre-níquel, también tienen una alta conductividad térmica.

La conductividad térmica puede variar con la temperatura, la presión y la composición química, por lo que es importante considerar estas variables al comparar la conductividad térmica de diferentes materiales (Cengel, 2011).

#### 1. Hierro negro

La conductividad térmica de una lámina de hierro negro es aproximadamente  $80 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ . El hierro negro es un material ferromagnético con una conductividad térmica relativamente baja, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que se requiere una buena conducción de calor. Sin embargo, debido a sus propiedades magnéticas, el hierro negro también se utiliza en aplicaciones electrónicas y electromecánicas (Cengel, 2011).

#### 2. Lámina galvanizada

La conductividad térmica de una lámina lisa galvanizada depende del material subyacente y del tipo de revestimiento galvanizado. El acero galvanizado tiene una conductividad térmica de aproximadamente  $50 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$  a  $60 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ , mientras que el hierro galvanizado tiene una conductividad térmica de aproximadamente  $80 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$  (Cengel, 2011).

El revestimiento galvanizado puede afectar la conductividad térmica ya que puede añadir una capa adicional de material entre el material subyacente y el ambiente exterior. Por lo tanto, es importante considerar la composición y el espesor del revestimiento al evaluar la conductividad térmica de una lámina lisa galvanizada (Cengel, 2011).

#### b) Conductividad baja

La conductividad térmica más baja depende de los materiales y de las condiciones específicas de la medición. Algunos de los materiales con una baja conductividad térmica incluyen:

- 1) Aislantes térmicos: Los materiales diseñados específicamente para ser aislantes térmicos, como la lana de vidrio, la espuma de poliuretano y la fibra de vidrio, tienen una baja conductividad térmica, que puede ser de aproximadamente  $0,05 \text{ W} / (\text{m}^*\text{K})$  o menos.
- 2) Polímeros: Muchos polímeros, como el polietileno y el policarbonato, tienen una baja conductividad térmica, que puede ser de aproximadamente  $0,2$  a  $0,3 \text{ W} / (\text{m}^*\text{K})$ .
- 3) Aire: El aire es un mal conductor térmico, con una conductividad térmica de aproximadamente  $0,024 \text{ W} / (\text{m}^*\text{K})$ .

La conductividad térmica puede variar con la temperatura, la presión y la composición química, por lo que es importante considerar estas variables al comparar la conductividad térmica de diferentes materiales (Cengel, 2011).

Figura No. 2 Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente

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

(Cengel, 2011).

#### b. Resistencia térmica

La resistencia térmica es la capacidad de un material o sistema para impedir o limitar la transferencia de calor. Se mide en unidades de resistencia térmica, como el grado Celsius por vatio ( $^\circ\text{C}/\text{W}$ ) o el joule por segundo por metro cuadrado por grado Celsius ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ). Un material con una resistencia térmica más alta tendrá una capacidad más baja para transferir calor, y por lo tanto será más eficaz como aislante térmico (Cengel, 2011).

### 3. Tipos de campo de transferencia de calor

#### a. Estado estable

En este caso, ni la Cantidad de Calor Transferida ( $q$ ), ni la Temperatura ( $T$ ), son función del tiempo, únicamente de la posición. Por Ejemplo: El calor de combustión hacia el agua, en tubos de calderas. Transferencia de Calor en los Intercambiadores. B.

#### b. Estado inestable

Este caso exige que  $q$  o  $T$  sean dependientes del tiempo y de la posición. Por Ejemplo: Calentamiento de un horno casero. Hornos industriales. Tratamiento de metales que no son líquidos a temperatura ambiente.

#### c. Estado Cuasi-estable O pseudocampo

Ocurre cuando  $q$  o  $T$  varían periódicamente con el tiempo. Por Ejemplo: Transferencia de calor en un motor de combustión interna. Máquinas alternativas, compresores, etc.

#### 4. Radiación

La radiación es la transferencia de energía calorífica por ondas electromagnéticas (infrarrojas) y es muy diferente a la conducción y a la convección. La conducción y la convección tienen lugar cuando el material que se está calentando está en contacto directo con la fuente de calor. En el calentamiento infrarrojo, no hay contacto directo con la fuente de calor. La energía infrarroja viaja en línea recta a través del espacio o el vacío (similar a la luz) y no genera calor hasta que es absorbida. La energía calorífica convertida se transmite entonces en el material mediante una convección o una conducción (Zelanski, P. y Fisher, M., 2001).

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra (Cengel, 2011).

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica (Cengel, 2011).

#### a. Albedo

El albedo es una medida de la cantidad de luz que un objeto refleja. Se mide como una fracción de la luz incidente sobre una superficie que se refleja de regreso. El albedo se expresa como un número entre 0 y 1, donde 0 significa que un objeto es completamente negro y refleja muy poca luz, y 1 significa que un objeto es completamente blanco y refleja toda la luz que incide sobre él (Castro, Longoria, Mar, Ruiz-Suárez, 2001).

El albedo y la emisividad están estrechamente relacionados ya que ambos describen cómo un objeto interactúa con la luz. Sin embargo, mientras que el albedo mide la cantidad de luz que un objeto refleja, la emisividad mide la cantidad de radiación infrarroja que un objeto emite (Castro, Longoria, Mar, Ruiz-Suárez, 2001).

Un objeto con alto albedo reflejará más luz y tendrá una emisividad más baja, ya que estará emitiendo menos radiación infrarroja. Por otro lado, un objeto con bajo albedo tendrá una emisividad más alta, ya que estará absorbiendo más luz y emitirá más radiación infrarroja (Castro, Longoria, Mar, Ruiz-Suárez, 2001).

El albedo y la emisividad son dos medidas complementarias que describen cómo un objeto interactúa con la luz y la radiación infrarroja. Juntos, estos dos conceptos permiten una comprensión más completa de la forma en que los objetos afectan y son afectados por su entorno energético (Castro, Longoria, Mar, Ruiz-Suárez, 2001).

#### b. Radiación solar

La radiación solar es la energía electromagnética que viaja desde el Sol a la Tierra. Esta radiación es una combinación de radiación ultravioleta, visible y térmica, y es la fuente principal de energía para el planeta Tierra. La radiación solar es responsable de la fotosíntesis en las plantas, el clima en la Tierra, y es una importante fuente de energía renovable utilizada en sistemas solares térmicos y fotovoltaicos (Joannon, 2016).

La radiación solar influye en el planeta Tierra de muchas maneras:

- 1) Clima: La radiación solar es una parte integral del clima en la Tierra, ya que calienta la atmósfera y el suelo, y es un factor clave en la formación de vientos, nubes y precipitaciones.
- 2) Fotosíntesis: La radiación solar es la fuente de energía que permite la fotosíntesis en las plantas, lo que a su vez proporciona la base de la cadena alimentaria en la Tierra.
- 3) Energía renovable: La radiación solar es una importante fuente de energía renovable que se utiliza para producir electricidad mediante sistemas solares térmicos y fotovoltaicos.
- 4) Ondas electromagnéticas: La radiación solar produce ondas electromagnéticas que pueden interferir con la comunicación y la tecnología en la Tierra.

(Cengel, 2011).

En general, la radiación solar es un factor importante en muchos de los procesos naturales y humanos en el planeta Tierra (Cengel, 2011).

La radiación solar es una fuente importante de energía en la Tierra, y su influencia en el clima y el calentamiento global está directamente relacionada con la cantidad de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. La radiación solar calienta la superficie de la Tierra, y los gases de efecto invernadero retienen una parte de este calor en la atmósfera, provocando un aumento de la temperatura media global. La emisión humana excesiva de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, ha contribuido significativamente al calentamiento global en los últimos años (Cengel, 2011).

#### c. Radiación directa

La radiación solar directa es la luz solar que llega directamente desde el Sol a la Tierra. Se puede medir con un radiómetro, que mide la cantidad de luz solar que llega a la superficie de la Tierra.

#### d. Radiación difusa

La radiación difusa solar es la radiación solar que llega a la Tierra después de haber sido dispersada por la atmósfera. Se mide con un radiómetro de difusión, que mide la cantidad de luz solar difusa que llega a la superficie terrestre.

La radiación difusa solar se da debido a la dispersión de la luz solar por los gases y partículas en la atmósfera, como el vapor de agua, el polvo y los aerosoles. Esto permite que la luz solar llegue a la superficie terrestre desde diferentes ángulos.

La radiación difusa solar afecta la temperatura de la superficie terrestre, la cantidad de luz solar disponible para la fotosíntesis y la cantidad de luz solar que se refleja en la atmósfera. También afecta la cantidad de energía solar que se absorbe por la Tierra, lo que a su vez afecta el clima. (Cengel, 2011)

Ecuación No. 5 Energía solar total que incide sobre unidad de área de una superficie horizontal sobre el piso.

$$G_{solar} = G_D \cos\theta + G_d \quad (5)$$

Donde:

$G_{solar}$ : Energía solar total que incide sobre unidad de área de una superficie horizontal sobre el piso ( $W/m^2$ )

$G_D$ : Radiación solar directa

$G_d$ : Radiación solar difusa

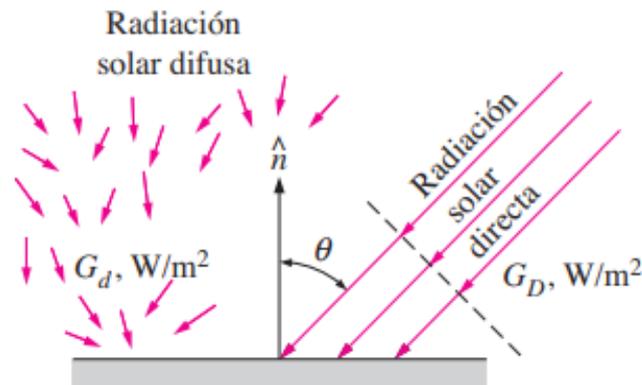
$\theta$ : ángulo de incidencia de la radiación solar directa (el ángulo que forma el rayo de sol con la perpendicular a la superficie).

La radiación difusa varía desde alrededor de 10% de la radiación total, en un día claro, hasta cerca de 100% en un día totalmente nublado (Cengel, 2011).

#### e. Radiación reflejada

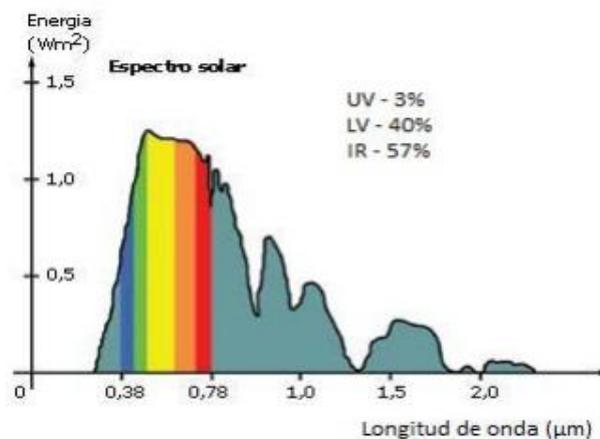
La radiación reflejada es la luz solar que se refleja en la superficie terrestre y en la atmósfera. Esta luz se refleja en la superficie terrestre debido a la presencia de nubes, aerosoles y partículas en la atmósfera. Esta luz reflejada se dispersa en todas direcciones (Cengel, 2011).

Figura No. 3 Radiación directa y difusa que incide sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.



(Cengel, 2011).

Figura No. 4 Espectro solar



(Joannon, 2016).

#### f. Radiación solar incidente sobre la tierra

La energía global recibida por el sol en la superficie terrestre (durante el ciclo diurno) alcanza los  $1373 \text{ W/m}^2$  en una atmósfera estándar para una temperatura de  $288.1 \text{ °K}$  (Joannon, 2016). Esto se llama irradiancia total solar o constante solar. Esto representa la tasa a la cual la energía solar incide sobre una superficie perpendicular a los rayos del Sol en el borde exterior de la atmósfera, cuando la Tierra se encuentra a su distancia media del Sol (Cengel, 2011).

Para estudiar los efectos que tiene la radiación sobre las viviendas es de interés la radiación que incide sobre la tierra y que por tanto afecta las viviendas y edificaciones. La tierra recibe

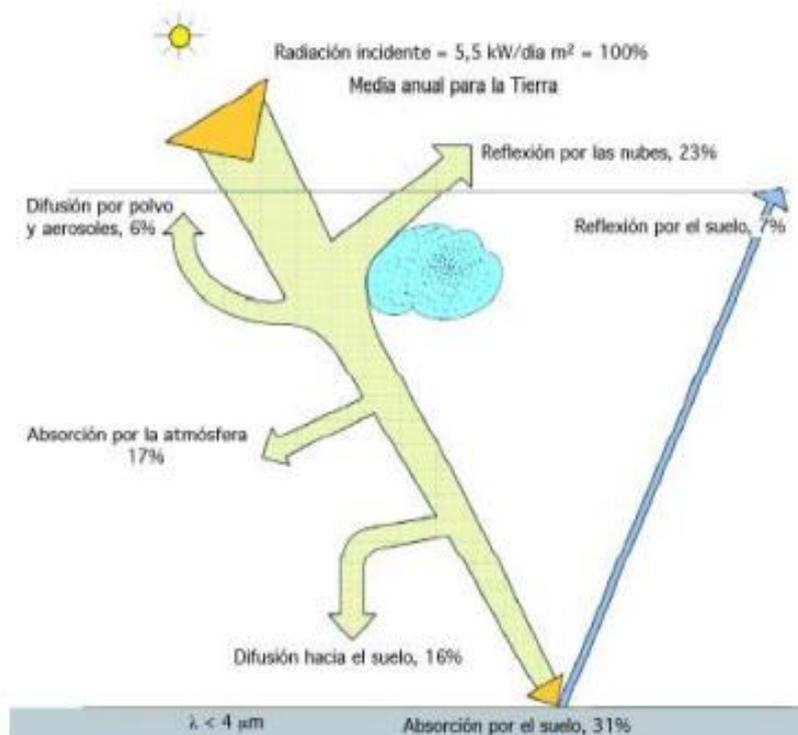
anualmente 10.000 veces el consumo mundial de energía. Esta cantidad de energía,  $1.73 \times 10^{14}$  kW se reparten de diversas maneras:

- Energía reflejada por la atmósfera: 30%
- Evaporación de océanos: 23%
- Perturbaciones atmosféricas, viento
- Calentar la atmósfera: 47%

(Joannon, 2016).

Así se deduce que el 47% de la energía solar incidente alcanza la superficie de la tierra con un 31% que lo hace directamente y otro 16% después de ser difundido por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire. La radiación directa es aquella proveniente del sol, sin cambiar de dirección y por otro lado la radiación difusa es aquella que cambia de dirección por reflexión y dispersión. En días nublados toda la radiación incidente sobre la superficie es difusa mientras que en días despejados predomina la directa. A continuación, se muestra una ilustración con el balance solar que permite comprenderlo de mejor manera (Joannon, 2016).

Figura No. 5 Balance solar



(Chamorro, Ortíz, Viana, 2015).

#### g. Tipos de radiación solar

La radiación solar se compone por los siguientes tipos de radiación: rayos infrarrojos (IR), rayos visibles (VI) y rayos ultravioletas (UV). El primer tipo, proporciona calor y representa el

49% de la radiación solar. El segundo representa el 43% y proporciona la luz. Y el tercero, representa el 7% (Chamorro, Ortíz, Viana, 2015).

#### 1) Rayos infrarrojos (IR)

Los rayos infrarrojos son un tipo de radiación electromagnética que se encuentra fuera del espectro visible de la luz. Tienen una longitud de onda más larga que la luz visible, pero más corta que las ondas de radio. Los rayos infrarrojos emiten calor y son detectables como calor radiante en la piel o en superficies calientes. Se utilizan en aplicaciones como la termografía, la detección de incendios, la climatización, entre otros (Chamorro, et al., 2015).

#### 2) Rayos visibles (VI)

Los rayos visibles son aquellos que pueden ser detectados por el ojo humano. Son una parte de la radiación electromagnética que se encuentra en el espectro visible, y tienen una longitud de onda comprendida entre los 400 y 700 nanómetros. La luz visible es la que permite ver los colores y formas de los objetos que se encuentran al rededor (Chamorro, et al., 2015).

#### 3) Rayos ultravioletas (UV)

Los rayos ultravioletas (UV) son una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda más cortas que las de la luz visible y más largas que las de los rayos X. Los rayos UV se dividen en tres categorías según su longitud de onda: UV-A, UV-B y UV-C. La exposición prolongada a la radiación UV puede ser perjudicial para la piel y la salud ocular. En la industria, los rayos UV se utilizan para curar adhesivos y resinas, y para analizar materiales y detectar falsificaciones (Chamorro, et al., 2015).

### h. Propiedades de radiación

#### 1) Emisividad

La emisividad es una medida de la capacidad de un material para emitir calor por radiación. Se representa como un número entre 0 y 1, donde 0 significa que el material no emite calor y 1 significa que emite todo el calor que recibe. La emisividad es una propiedad importante para considerar en la ingeniería térmica, ya que puede afectar la transferencia de calor y la eficiencia energética en aplicaciones como la construcción, la fabricación de materiales y la climatización (Cengel, 2011).

La emisividad influye en la transferencia de calor porque un material con una alta emisividad emitirá más calor que un material con una baja emisividad. En otras palabras, la emisividad controla la cantidad de radiación térmica que un material emite, lo que a su vez

afecta la transferencia de calor por radiación. En aplicaciones de enfriamiento, es común utilizar materiales con una baja emisividad para reducir la pérdida de calor por radiación y, por lo tanto, mejorar el rendimiento de enfriamiento (Cengel, 2011).

La emisividad de un objeto depende de su superficie y de las propiedades ópticas de dicha superficie. Estas propiedades incluyen la absorción, la reflexión y la transmisión de la radiación electromagnética en el rango del espectro electromagnético visible y no visible. La emisividad también puede verse afectada por la textura, la rugosidad y la uniformidad de la superficie. Además, la emisividad de un objeto puede ser influenciada por la temperatura y la humedad (Cengel, 2011).

En general, un objeto con una superficie negra y rugosa tiene una mayor emisividad que un objeto con una superficie brillante y lisa. La emisividad se puede medir experimentalmente usando equipos específicos, como termómetros infrarrojos o espectrómetros. También se pueden consultar tablas o gráficos que muestran la emisividad de diferentes materiales o superficies (Cengel, 2011).

La emisividad se puede medir experimentalmente mediante diversos métodos, tales como:

1. Método de la cámara calorimétrica: se miden las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie de un objeto y se compara con las emitidas por un cuerpo negro de referencia.
2. Método de la sonda térmica: se utiliza un termopar para medir la temperatura de la superficie de un objeto y se compara con la temperatura medida por un termopar en contacto con un cuerpo negro.
3. Método espectral: se mide la emisividad en diferentes longitudes de onda utilizando un espectrómetro infrarrojo.

(Cengel, 2011).

Estos métodos pueden dar información sobre la emisividad de una superficie y permiten comparar diferentes materiales y superficies para determinar cuáles tienen una emisividad más alta o baja (Cengel, 2011).

La emisividad y la temperatura están relacionadas, ya que la emisividad se refiere a la habilidad de un objeto para emitir energía térmica en forma de radiación electromagnética. La temperatura de un objeto está determinada por la cantidad de energía térmica que contiene, por lo que objetos con alta emisividad emiten más energía térmica a su entorno que aquellos con baja emisividad. La emisividad también está influenciada por la temperatura de un objeto, ya que a medida que aumenta la temperatura, aumenta la energía térmica que se emite y, por lo tanto, la emisividad. Por lo tanto, existe una relación directa entre la emisividad y la temperatura de un objeto (Cengel, 2011).

Figura No. 6 Emisividades de algunos materiales a temperatura ambiente

Superficie	$\alpha_s$	$\varepsilon$
Aluminio		
Pulido	0.09	0.03
Anodizado	0.14	0.84
Hoja	0.15	0.05
Cobre		
Pulido	0.18	0.03
Deslustrado	0.65	0.75
Acero inoxidable		
Pulido	0.37	0.60
Opaco	0.50	0.21
Metales plateados		
Óxido negro		
de níquel	0.92	0.08
Cromo negro	0.87	0.09
Concreto	0.60	0.88
Mármol blanco	0.46	0.95
Ladrillo rojo	0.63	0.93
Asfalto	0.90	0.90
Pintura negra	0.97	0.97
Pintura blanca	0.14	0.93
Nieve	0.28	0.97
Piel humana (caucásica)	0.62	0.97

(Cengel, 2011)

Como se muestra en esta figura, la emisividad teórica de la pintura blanca es de 0.93. Debido a que este valor no es único, a continuación, se muestra otra fuente en donde la emisividad de la pintura blanca se da en un rango.

Figura No. 7 Emisividad normal de algunos materiales, superficies y pinturas.

Superficie	t <sub>f</sub> °F	Emisividad	
<b>Ladrillo</b>			
Rojo, áspero, pero sin irregularidades notables	70	0.93	
De sílice, sin vidriar, áspero	1832	0.80	
De sílice, vidriado, áspero	2012	0.85	
Ladrillo de Grog, vidriado (Vea materiales refractarios)	2012	0.75	
Mármol, gris claro, pulido	72	0.931	
<b>Materiales refractarios, 40 diferentes</b>	<b>1110-1830</b>		
Malos radiadores		0.65	0.75
		0.7	
Buenos radiadores		0.8	0.85
		0.85	0.9
<b>Papel delgado</b>			
Adherido a placa de hierro estañada	66	0.924	
a placa áspera de hierro	66	0.929	
a placa con laca negra	66	0.944	
<b>Papel impermeabilizante para techos</b>	<b>69</b>	<b>0.91</b>	
<b>Pinturas, lacas, barnices</b>			
Esmalte blanco, barniz aplicada a placa de hierro	73	0.906	
Laca negra billante, atomizada en hierro	76	0.875	
Barniz de laca negro brillante en lámina de hierro	70	0.821	
Barniz de laca negro mate	170-295	0.91	
Laca negra	100-200	0.80-0.95	
Laca negra sin lustre	100-200	0.96-0.98	
Laca blanca	100-200	0.80-0.95	
Pinturas de aceite, 16 colores diferentes	212	0.92-0.96	
<b>Pinturas y lacas de aluminio</b>			
10% Al, 22% laca, en superficies ásperas o lisas	212	0.52	
26% Al, 27% laca, en superficies ásperas o lisas	212	0.3	
Otras pinturas de Al, de contenido de Al y añejamiento	212	0.27-0.67	
Laca de aluminio y barniz, en placas ásperas	70	0.39	
Pintura de aluminio, después de calentar a 620°F	300-600	0.35	

(Kern, 1999).

## 2) Absortancia

La absorción es la capacidad de un material de atrapar y retener la energía radiante que recibe. En el contexto de la luz, la absorción se refiere a la cantidad de energía lumínica que un objeto absorbe y no refleja ni transmite. Esta propiedad está determinada por la composición y las propiedades ópticas del material, y puede ser utilizada para calcular su capacidad de transmisión de calor (Cengel, 2011).

Representa la fracción de radiación incidente que es absorbida por una superficie o material, se representa con valores entre 0 y 1.0. Al igual que la emisividad depende del color y acabado del material. Así la absortancia se utiliza para estimar como la radiación solar afecta al balance térmico entre exterior e interior de una edificación (Cengel, 2011).

Ecuación No. 6 Absortancia.

$$\alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{abs}}{G}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6)$$

### 3) Reflectancia

La reflectancia es una medida de la cantidad de luz que es reflejada por un material. Es un porcentaje que indica cuánta luz incidente en un material es regresada hacia el observador. La reflectancia se utiliza a menudo en materiales de construcción, textiles y pinturas, para evaluar su apariencia y desempeño en condiciones de iluminación diferentes. Un material con una reflectancia alta parece brillante, mientras que un material con una reflectancia baja parece mate o opaco. La reflectancia también puede ser utilizada para medir la capacidad de un material para reflejar la luz solar y disminuir la carga térmica en los edificios. Su relación con la absortancia es que la suma de los dos es 1, el total de la energía incidente sobre la superficie o material (Cengel, 2011).

Ecuación No. 7 Reflectancia.

$$\rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{ref}}{G}, \quad 0 \leq \rho \leq 1 \quad (7)$$

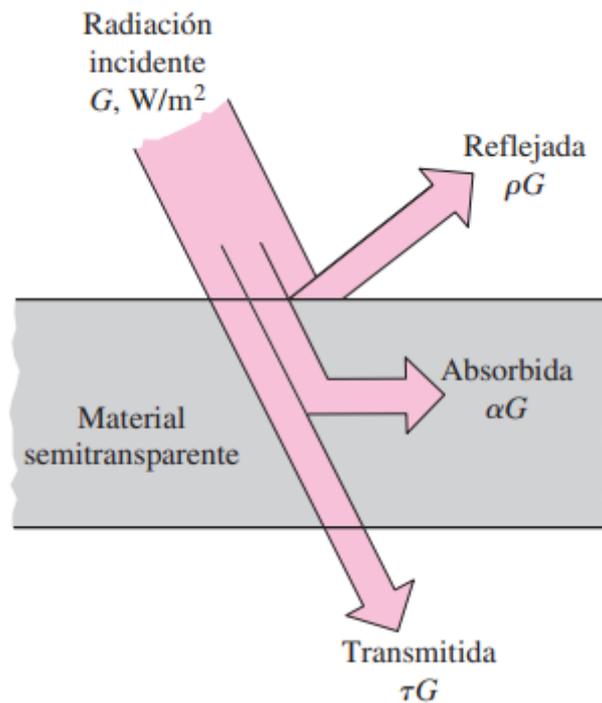
### 4) Transmitividad

La transmitividad en un material es la propiedad que determina la cantidad de energía radiante que puede pasar a través de él. Se puede entender como lo opuesto a la opacidad o la capacidad de un material para bloquear la transmisión de la luz o la radiación. La transmitividad se puede medir en términos de porcentaje o en términos de coeficiente de transmisión, que refleja la proporción de la energía radiante que atraviesa un material respecto a la energía incidente en su superficie. La transmitividad de un material depende de su composición, estructura y propiedades ópticas, y puede afectar el confort térmico en un espacio interior y su eficiencia energética (Cengel, 2011).

Ecuación No. 8 Transmitividad.

$$\tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{tr}}{G}, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (8)$$

Figura No. 8 Absorción, reflexión y transmisión de la radiación incidente por un material semitransparente.



(Cengel, 2011).

#### 5) Ley de Kirchhoff

La Ley de Kirchhoff es una ley en termodinámica que describe la relación entre la emisividad, la reflectividad y la transmitividad de un objeto. Esta ley establece que la suma de la fracción de radiación electromagnética emitida, reflejada y transmitida por un objeto debe ser igual a 1. Es decir, para cada unidad de energía incidente en un objeto, la misma cantidad de energía se debe emitir, reflejar y transmitir. La ley de Kirchhoff es una consecuencia de la ley de conservación de la energía y se utiliza comúnmente en la investigación y el análisis en óptica y termodinámica (Cengel, 2011).

#### 6) Intensidad de radiación

La intensidad de radiación se refiere a la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo a través de una superficie o por un volumen en una dirección determinada. En otras palabras, la intensidad de radiación representa la cantidad de energía que se dispersa en una dirección determinada desde una fuente de radiación. Se puede medir en unidades como vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) o vatios por metro cúbico ( $W/m^3$ ). La intensidad de radiación es importante en muchos campos, como la física, la ingeniería, la astrofísica y la biología, ya que afecta a la forma en que los objetos y las materias interactúan con la radiación (Cengel, 2011).

## 7) Ley de Stefan

La ley de Stefan plantea que todos los objetos emiten energía radiante, cualquiera sea su temperatura, por ejemplo, el Sol, la Tierra, la atmósfera, los Polos, las personas, etc. La energía radiada por el Sol a diario afecta la existencia humana en diferentes formas. Esta influye en la temperatura promedio de la tierra, las corrientes oceánicas, la agricultura, el comportamiento de la lluvia, etc. (Cengel, 2011).

Esta ley es una consecuencia de la termodinámica y es una de las leyes fundamentales de la radiación electromagnética. Es aplicable a cualquier cuerpo negro, es decir, un cuerpo que absorba toda la radiación electromagnética incidente sin reflejarla (Cengel, 2011).

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann.

Ecuación No. 9 Razón máxima de radiación emitida.

$$Q_{emitida, \text{máx}} (W) = \sigma A_s T_s^4 \quad (9)$$

donde  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ , o bien,  $0.1714 \cdot 10^8 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$  es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro (Cengel, 2011).

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

Ecuación No. 10 Radiación emitida por superficies reales.

$$Q_{emitida}(W) = \epsilon A_s T_s^4 \quad (10)$$

en donde  $\epsilon$  es la emisividad de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo  $0 < \epsilon < 1$ , es una medida de que tan próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual es igual a 1 (Cengel, 2011).

Si la razón de absorción de la radiación es mayor que la de emisión, se dice que la superficie está ganando energía por radiación. De lo contrario, se dice que la superficie está perdiendo energía por radiación. En general, la determinación de la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre dos superficies es complejo, ya que depende de las propiedades de las superficies, de la orientación de una con respecto a la otra y de la interacción del medio que existe entre ellas con la radiación (Cengel, 2011).

Cuando una superficie de emisividad  $\epsilon$  y área superficial  $A_s$ , a una temperatura termodinámica  $T_s$ , está por completo encerrada por una superficie mucho más grande (o negra), a una temperatura termodinámica  $T_{alred}$ , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por:

Ecuación No. 11 Ley de Stefan-Boltzmann.

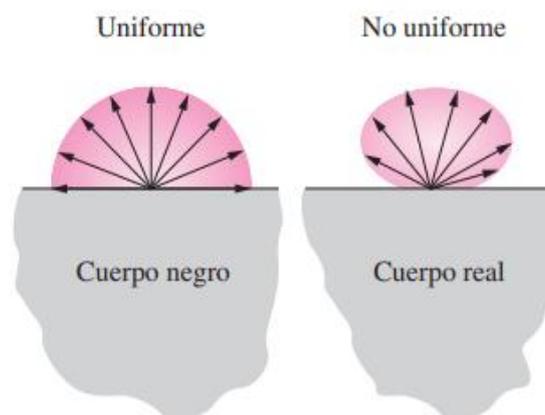
$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (11)$$

### 8) Cuerpo negro

Un absorbedor perfecto se llama cuerpo negro (no significa que sea de color negro), que se define como un objeto ideal que absorbe toda la radiación que llega a su superficie y su emisividad es igual a uno. No se conoce ningún objeto así, aunque una superficie de negro de carbono puede llegar a absorber aproximadamente un 97% de la radiación incidente. El Sol, la Tierra, la nieve, etc. bajo ciertas condiciones se comportan como un cuerpo negro. En teoría, un cuerpo negro sería también un emisor perfecto de radiación, y emitiría a cualquier temperatura la máxima cantidad de energía disponible. A una temperatura dada, emitiría una cantidad definida de energía en cada longitud de onda (Cengel, 2011).

En contraste, un cuerpo cuya emisividad sea igual a cero, no absorbe la energía incidente sobre él, sino que la refleja toda, es un reflector perfecto. Los cuerpos con emisividades entre 0 y 1 se llaman cuerpos grises, son los objetos reales. A raíz del fracaso de los intentos de calcular la radiación de un cuerpo negro ideal según la física clásica, se desarrollaron por primera vez los conceptos básicos de la teoría cuántica. Una buena aproximación de un cuerpo negro es el interior de un objeto hueco. La naturaleza de la radiación emitida por un cuerpo hueco a través de un pequeño agujero sólo depende de la temperatura de las paredes de la cavidad (Cengel, 2011).

Figura No. 9 Comparación de cuerpo negro y cuerpo real



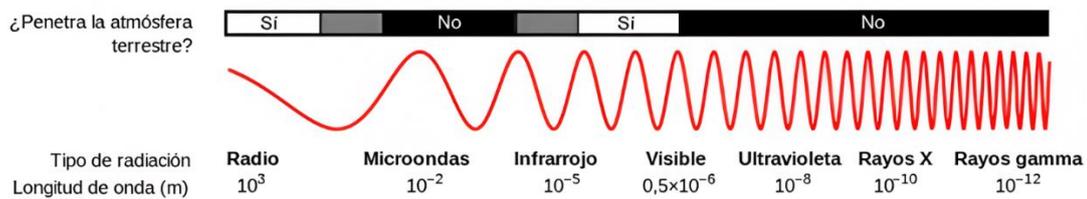
(Cengel, 2011).

Se dice que un cuerpo negro es un emisor difuso ya que difunde energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones (Cengel, 2011).

## 9) Espectro electromagnético

La radiación es una de las formas de transporte de energía a través de ondas electromagnéticas. El transporte de energía en el universo es sólo radiante, ya que son necesarias materia para que se produzca conducción y convección. El espectro electromagnético abarca toda la gama de radiaciones presentes en el universo, dividiéndose según su longitud de onda. Así las radiaciones con mayor energía presentan mayor frecuencia y menores longitudes de onda, y las ondas más débiles presentan bajas frecuencias y mayores longitudes de onda (Joannon, 2016).

Figura No. 10 Espectro electromagnético



(Joannon, 2016).

Algunos de los tipos de radiación son bastante dañinos para el hombre y para cualquier tipo de vida en la tierra, esto se puede observar con los daños en la piel o en algunos materiales debido a la radiación UV, las precauciones que se toman a la hora de exámenes médicos, rayos X, etc. Para estas longitudes de ondas, la atmósfera actúa como un escudo natural, impidiendo la incidencia de radiaciones de alta energía sobre la tierra. Así son de interés los espectros que logran incidir en la tierra, y sobre todo aquellos que inciden en mayor porcentaje lo cual se ilustra a continuación (Joannon, 2016).

### a) Espectro de luz

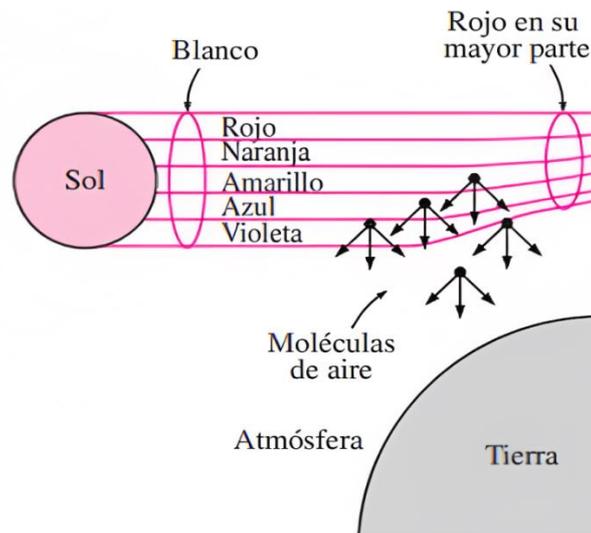
El espectro de luz visible es la parte del espectro electromagnético que los ojos son capaces de detectar y percibir como color. Va desde las longitudes de onda más cortas (rojo) hasta las más largas (violeta) e incluye todos los colores intermedios, como el naranja, el amarillo, el verde y el azul. La luz blanca es una combinación de todos los colores del espectro de luz visible (Cengel, 2011).

El espectro de luz visible es importante para muchas áreas, incluyendo la percepción del color, la fotografía y la impresión de imágenes, la iluminación y la pantalla, y es un concepto fundamental en la física y la optometría. La capacidad de los ojos para detectar y percibir la

luz visible es una parte importante de los sentido de la vista y permite interactuar con el mundo de alrededor (Cengel, 2011).

La cantidad de luz visible en un área determinada se mide por medio de un dispositivo llamado luxómetro. Se utiliza para medir la cantidad de luz en una habitación, una oficina o una sala de clase o la intensidad lumínica en el exterior. Los luxómetros se utilizan para asegurar que los niveles de luz sean adecuados para la visión humana (Torres, 2022).

Figura No. 11 Fundamentos de la luz blanca



(Cengel, 2011).

Las moléculas del aire dispersan mucho más la luz azul que la roja. En la puesta del Sol la luz viaja a través de una capa más gruesa de atmósfera, lo cual elimina gran parte del azul de la luz natural, permitiendo que domine el rojo (Cengel, 2011).

## 1. Colores

Los colores se ven cuando la luz blanca incide sobre un objeto y es reflejada o transmitida por él, y es percibida por los ojos. Cada color visible se corresponde con una longitud de onda específica en el espectro de luz visible.

Cuando la luz blanca incide sobre un objeto, algunos colores son absorbidos y otros son reflejados. La luz reflejada es la que se percibe como el color del objeto. Por ejemplo, un objeto rojo refleja principalmente la luz roja y absorbe todas las demás longitudes de onda, lo que hace que parezca rojo a los ojos.

Los ojos tienen células sensibles a la luz conocidas como conos y bastones, que detectan los diferentes colores e intensidades de la luz y envían señales al cerebro para que procese la información visual. El cerebro luego combina la información recibida de los conos y los bastones para percibir el color y la forma de los objetos de al rededor.

En resumen, los colores se ven porque la luz incide sobre los objetos, es reflejada o transmitida por ellos y es percibida por los ojos y procesada por el cerebro.

Figura No. 12 Rango de longitud de onda de los colores

Color	Banda de longitudes de onda
Violeta	0.40-0.44 $\mu\text{m}$
Azul	0.44-0.49 $\mu\text{m}$
Verde	0.49-0.54 $\mu\text{m}$
Amarillo	0.54-0.60 $\mu\text{m}$
Naranja	0.60-0.67 $\mu\text{m}$
Rojo	0.63-0.76 $\mu\text{m}$

(Cengel, 2011).

## 2. Cuerpo blanco

El color blanco es una percepción visual que se produce cuando los ojos reciben luz que contiene todos los colores del espectro visible al mismo tiempo y con intensidades similares. Esta luz es percibida como un color uniforme, sin tonos ni matices, y se considera el resultado de la suma de todos los colores del espectro visible (Cengel, 2011).

El color blanco también puede ser producido artificialmente mediante la mezcla de luces de diferentes colores, como rojo, verde y azul, con intensidades similares (Cengel, 2011).

## F. Pintura

La pintura es una mezcla en estado líquido, fluido o viscoso constituida básicamente por tres elementos principales: pigmentos, ligantes o vehículos fijos y disolventes o vehículos volátiles, que forman una dispersión. También, dentro de la formulación, se pueden agregar sustancias en cantidades pequeñas, denominadas aditivos, los cuales pueden ser: secantes, catalizadores, plastificantes, tensoactivos, entre otros. Existen diversos tipos de pinturas (imprimaciones y esmaltes, plásticas, barnices), las cuales cada una está diseñada para un fin específico (Calvo, 2014).

Existen diferentes tipos de pinturas para pared, incluyendo:

- 1) Pintura acrílica: es una de las pinturas más comunes para paredes internas y externas debido a su resistencia a la humedad, la suciedad y el desgaste.
- 2) Pintura alquídica: es una pintura de alto rendimiento para paredes internas y externas con una excelente resistencia a la humedad y la suciedad.
- 3) Pintura epoxi: es una pintura de alta resistencia para paredes con alto tráfico o en áreas húmedas.
- 4) Pintura a la cal: es una pintura natural a base de cal y agua que proporciona un acabado mate y natural a las paredes.
- 5) Pintura satinada: es una pintura con un acabado semi brillante que es fácil de limpiar y se mantiene bien.
- 6) Pintura mate: es una pintura con un acabado mate que no refleja la luz y proporciona una apariencia uniforme y suave.
- 7) Pintura metalizada: es una pintura con un acabado metálico que proporciona un efecto de lujo y glamour a las paredes.

(Calvo, 2014).

Las pinturas a base de agua son también llamadas pinturas de emulsión o de látex. La pintura látex es un tipo de pintura acrílica que se caracteriza por su base de polímero sintético de poliuretano. La "látex" en el nombre se refiere a la base de goma látex, aunque muchas veces las pinturas actuales de poliuretano no contienen goma látex (Calvo, 2014).

Las pinturas látex tienen una serie de ventajas, incluyendo una fácil aplicación, un secado rápido, una buena resistencia a la humedad, la suciedad y los desgastes, y una amplia gama de colores disponibles. Además, son generalmente no tóxicas y no emiten olores fuertes, lo que las hace adecuadas para uso en interiores (Calvo, 2014).

Sin embargo, también existen algunas desventajas, como una menor durabilidad que algunas otras pinturas y una menor resistencia a la abrasión y al desgaste. Además, algunas pinturas látex pueden encogerse y agrietarse con el tiempo. Por lo tanto, es importante seleccionar la pintura látex adecuada para cada aplicación y seguir las recomendaciones del fabricante para su uso y aplicación. Es una dispersión en medio acuoso de partículas aglutinadas mediante un determinado ligante y estabilizadas de forma conveniente, generalmente son empleadas para la decoración y protección de superficies, por ejemplo, paredes y fachadas (Muñoz, Paricaguán, Pérez, Sevilla, 2018).

## 1. Componentes de una pintura

Los componentes de una pintura generalmente incluyen:

- 1) Pigmentos: son las sustancias insolubles que proporcionan el color a la pintura.
- 2) Ligantes o vehículos: son las sustancias que se utilizan para unir los pigmentos y otros componentes en una pintura.

- 3) Dispersantes: son sustancias utilizadas para mantener los pigmentos en suspensión en el líquido vehicular.
- 4) Aditivos: son sustancias añadidas a la mezcla para mejorar las características de la pintura como la resistencia al agua, la resistencia al envejecimiento, la resistencia a la abrasión, entre otros.
- 5) Solventes: son sustancias utilizadas para disolver los componentes de la pintura y facilitar su aplicación.
- 6) Diluyentes: son sustancias utilizadas para ajustar la viscosidad de la pintura y facilitar su aplicación.
- 7) Adyuvantes: son sustancias que ayudan a mejorar las características de la pintura como la resistencia al agua, la resistencia al envejecimiento, la resistencia a la abrasión, entre otros.

(Calvo, 2014).

#### a. Pigmento

Un pigmento es un compuesto químico de partículas sólidas e insoluble en el medio en el que se encuentra, que se utiliza para dar color y brillo a las pinturas, tintas, cerámicas, plásticos y otros materiales. Contribuyen con el poder cubriente y las propiedades anticorrosivas del recubrimiento. El poder cubriente del pigmento depende directamente del tamaño de partículas y de la concentración en pigmentos (Calvo, 2014).

Un pigmento o un tinte es un material que cambia el color de la luz que refleja debido a que selectivamente absorben ciertas ondas luminosas. La luz blanca es aproximadamente igual a una mezcla de todo el espectro visible de luz. Cuando esta luz se encuentra con un pigmento, algunas ondas son absorbidas por los enlaces químicos y sustituyentes del pigmento, mientras otras son reflejadas. El pigmento es un material que tiene la capacidad de cambiar el color de la luz que refleja, gracias a la absorción selectiva del color. El pigmento blanco un color acromático, de claridad máxima y oscuridad nula. De esta manera el color blanco es el más indicado para evitar la absorción de los rayos de sol (Calvo, 2014).

Los pigmentos pueden ser, según su forma de obtención y según su composición, orgánicos o inorgánicos, naturales o sintéticos. Los pigmentos se utilizan en proporciones muy pequeñas en relación con el medio en el que se encuentra, y su función principal es proporcionar el color deseado. Los pigmentos también pueden proporcionar propiedades adicionales a los materiales en los que se utilizan, como la resistencia al desgaste y a la luz, la resistencia a la intemperie, y la protección contra la corrosión. Los pigmentos son los encargados de proporcionar el color a la pintura, ya sea mediante la absorción o la refracción de la luz (Calvo, 2014).

Los pigmentos inorgánicos presentan normalmente mayor poder colorante y a su vez menor poder cubriente que los orgánicos. Los pigmentos presentan las siguientes propiedades:

- poder cubriente
- peso específico

- color
- retención de calor
- tamaño y forma de partícula
- capacidad de humectación
- absorción de aceite
- reactividad química
- estabilidad a la luz
- resistencia al calor
- índice de reflexión

Existen varios tipos de pigmentos utilizados en las pinturas, algunos de los cuales incluyen:

- 1) Pigmentos orgánicos: Estos pigmentos son fabricados a partir de compuestos orgánicos, como la clorofila de los vegetales, y suelen ser de alta resistencia a la luz y al desgaste.
- 2) Pigmentos inorgánicos: Estos pigmentos son fabricados a partir de compuestos inorgánicos, como los óxidos de hierro y zinc, y suelen ser muy resistentes a la corrosión y a la intemperie.
- 3) Pigmentos naturales: Estos pigmentos se obtienen directamente de la naturaleza, como el óxido de hierro rojo de la tierra, y suelen ser muy resistentes a la luz y al desgaste.
- 4) Pigmentos sintéticos: Estos pigmentos son fabricados en un laboratorio mediante procesos químicos, y suelen tener una amplia gama de colores y resistencias.
- 5) Pigmentos metálicos: Estos pigmentos son fabricados a partir de metales, como el oro y la plata, y suelen ser utilizados para proporcionar un acabado metálico a las pinturas.
- 6) Pigmentos fluorescentes: Estos pigmentos emiten luz de un color específico cuando se iluminan con luz UV, y suelen ser utilizados para señalización y seguridad.
- 7) Pigmentos de refuerzo: Estos pigmentos son utilizados para fortalecer y mejorar la de la pintura, como el carbonato de calcio, la mica y el talco.
- 8) Pigmentos de carga: Estos pigmentos son utilizados para aumentar la masa y mejorar la cobertura de la pintura, como el caolín y el sílices.
- 9) Pigmentos cubrientes: Estos pigmentos son productos químicos que dispersados cubren la superficie pintada por opacidad. Se utilizan en la formulación de pinturas de fondo y acabado y tienen por función principal la de aportar el color a la pintura. Los pigmentos cubrientes utilizados en pinturas son amplios, como blanco de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), blanco de zinc ( $\text{ZnO}$ ), amarillo de cromo ( $\text{PbCrO}_4$ ), entre otros.
- 10) Pigmentos anticorrosivos: Tienen por finalidad evitar o inhibir la corrosión provocada por los agentes atmosféricos y oxidantes. La protección que aportan se materializa por pasivación anódica o catódica de la pila electromagnética que se

origina en todo el proceso corrosivo por protección catódica del acero, empleando para este fin un elemento menos noble que el hierro.

- 11) Pigmentos extendedores o cargas: Estos pigmentos por sí solos no son capaces de proporcionar opacidad a la pintura, tienen un tamaño 100 veces mayor al del resto de pigmentos, su función es dar consistencia a la pintura. Son el grupo de pigmentos más económicos, por lo que son usados para pinturas de baja gama. Algunos pigmentos extendedores son yeso natural, caolín o talco.
- 12) Pigmentos con funciones específicas: Se emplean en las formulaciones de pinturas para proporcionar propiedades específicas contra determinados agentes. Entre los más utilizados se encuentran pigmentos con funciones antioxidantes, antiincrustantes, fungicidas o ignífugas.

(Calvo, 2014).

#### b. Ligantes o vehículos fijos

Los ligantes, también conocidos como vehículos, son las sustancias que se utilizan para unir los pigmentos y otros componentes en una pintura. Los ligantes son el componente líquido de una pintura y actúan como un medio para transportar los pigmentos y otros componentes a la superficie que se va a pintar. Los ligantes también ayudan a fijar los pigmentos a la superficie y a proporcionar una película sólida y uniforme. Los ligantes se dividen en dos categorías: orgánicos e inorgánicos (Calvo, 2014).

Los ligantes orgánicos incluyen resinas de polímeros como acrílicos, alquídicos, poliésteres y poliuretano, mientras que los inorgánicos incluyen sales de plomo, de zinc y de calcio. al aplicarse sobre la superficie a recubrir liga y envuelve a los pigmentos formando junto con éstos tras el proceso de secado una película fina, continua y elástica. El secado del ligante puede producirse por distintos métodos: evaporación, oxidación, polimerización, entre otros (Calvo, 2014).

El tipo de resina que constituye el ligante o vehículo fijo definirá el tiempo necesario para el secado del producto final, el brillo que tendrá la pintura, así como la resistencia fisicoquímica de ésta frente a los agentes atmosféricos, utilizándose para este fin sustancias orgánicas, tales como aceites, barnices o resinas. La composición del vehículo tiene gran influencia sobre las propiedades físicas y químicas de la pintura (Calvo, 2014).

Las resinas naturales suelen ser de origen vegetal. Es una sustancia pastosa. El uso de éste ha disminuido debido al desarrollo actual de las resinas sintéticas. Estas últimas combinan resinas naturales con aceites, generando un aglutinante mucho más resistente al agua y a los agentes químicos. Las resinas son utilizadas para la elaboración de perfumes, adhesivos, barnices, pinturas y aditivos alimenticios. Entre las principales resinas sintéticas utilizadas se tiene: resinas alquídicas, acrílicas, fenólicas, vinílicas, epóxicas, de caucho clorado, de poliuretano y de silicona (Hernández, 2013).

### 1) Resina acrílica

Una resina acrílica es un tipo de polímero sintético que se obtiene a partir de la polimerización de monómeros de acrilato de metilo. Se caracteriza por tener una gran variedad de aplicaciones, ya que es un material resistente, transparente, ligero y que se endurece rápidamente cuando se expone a la luz (Calvo, 2014).

Las resinas acrílicas se utilizan comúnmente en la fabricación de pinturas, barnices, adhesivos, y productos de acabados para la construcción, como por ejemplo en la fabricación de pinturas para exteriores, pinturas para interiores, selladores, etc. (Calvo, 2014).

También se utilizan en la fabricación de productos de plástico, como por ejemplo en la fabricación de vidrios acrílicos, laminados, paneles, etc (Calvo, 2014).

Las resinas acrílicas son resistentes a los rayos UV, a la humedad y a la acción de los rayos solares, lo cual las hace ideales para aplicaciones al aire libre. Este tipo de resina es utilizada para la fabricación de pintura de látex (Hernández, 2013).

### 2) Resina alquídica

Una resina alquídica es un tipo de resina sintética utilizada principalmente como aglutinante o ligante en pinturas y barnices. Estas resinas se obtienen a partir de la reacción química entre un alcohol y un ácido graso, y suelen tener un alto contenido de sólidos y un punto de inflamabilidad alto (Calvo, 2014).

Estas resinas se utilizan principalmente en la fabricación de pinturas para exteriores, como por ejemplo en la fabricación de pinturas para estructuras metálicas, pinturas para puentes, pinturas para tanques, etc (Calvo, 2014).

Además, también se utilizan en la fabricación de barnices para madera, barnices para metal, y en la fabricación de productos de acabados para la construcción (Calvo, 2014).

Una de las principales ventajas de las resinas alquídicas es su gran resistencia a la humedad, a la acción de los rayos solares, y a las condiciones climáticas extremas, lo cual las hace ideales para aplicaciones al aire libre. Sin embargo, debido a su alto punto de inflamabilidad, requieren cuidado y precaución al momento de ser manejadas (Calvo, 2014).

### 3) Resinas de poliuretano

Una resina de poliuretano (PU) es un tipo de resina sintética que se obtiene a partir de la reacción química entre un isocianato y un poliol. Las resinas de poliuretano son conocidas por su gran variedad de aplicaciones debido a su alta resistencia mecánica, a la flexibilidad, y a la resistencia química (Calvo, 2014).

Las resinas de poliuretano se utilizan en una gran variedad de industrias, como la construcción, la automoción, la electrónica, la fabricación de productos de plástico, entre otras. En la industria de la construcción, se utilizan para fabricar productos como adhesivos, selladores, impermeabilizantes, espumas, entre otros (Calvo, 2014).

En la industria automotriz se utilizan para fabricar piezas de motores, amortiguadores, cojinetes, entre otros. En la fabricación de productos de plástico, se utilizan para fabricar paneles, laminados, vidrios acrílicos, entre otros (Calvo, 2014).

Las resinas de poliuretano son resistentes a los rayos UV, a la humedad, y a la acción de los rayos solares. Sin embargo, debido a su alta reactividad química, requieren cuidado y precaución al momento de ser manejadas (Calvo, 2014).

#### 4) Resinas de poliéster

Una resina de poliéster es un tipo de resina sintética que se obtiene a partir de la polimerización de un éster y un ácido. Se utilizan principalmente como aglutinante o ligante en la fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento (Calvo, 2014).

Existen dos tipos de resinas de poliéster: las resinas de poliéster alifáticas y las resinas de poliéster aromáticas (Calvo, 2014).

Las resinas de poliéster alifáticas son las más utilizadas en la industria debido a su gran resistencia a la humedad, a la acción de los rayos solares, y a las condiciones climáticas extremas (Calvo, 2014).

Las resinas de poliéster aromáticas son más resistentes a la acción química y tienen un mejor rendimiento en aplicaciones de alta resistencia mecánica (Calvo, 2014).

En la industria de la construcción, se utilizan en la fabricación de pinturas para exteriores, como por ejemplo en la fabricación de pinturas para estructuras metálicas, pinturas para puentes, pinturas para tanques, entre otras (Calvo, 2014).

En la industria de la automoción, se utilizan para fabricar piezas de motores, amortiguadores, cojinetes, entre otros (Calvo, 2014). En la fabricación de productos de plástico, se utilizan para fabricar paneles, laminados, vidrios acrílicos, entre otros (Calvo, 2014).

Es importante mencionar que las resinas de poliéster son resistentes a los rayos UV, a la humedad, y a la acción de los rayos solares. Sin embargo, debido a su alta reactividad química, requieren cuidado y precaución al momento de ser manejadas (Calvo, 2014).

Los aglutinantes son un componente esencial en las pinturas para exteriores ya que proporcionan adherencia, durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas extremas. El tipo de aglutinante utilizado en una pintura para exteriores dependerá del sustrato y las condiciones a las que se enfrentará la pintura (Calvo, 2014).

## 5) Resinas epóxicas

La resina epóxica, también conocida simplemente como "epoxi", es un tipo de polímero termoestable que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde la fabricación de materiales compuestos hasta la pintura y los adhesivos. Se compone de dos componentes principales: una resina y un endurecedor (Calvo, 2014).

La resina epóxica es un líquido viscoso que contiene grupos oxirano o epóxido. Los grupos oxirano se forman a partir de la reacción química de la resina con un endurecedor, lo que resulta en una red tridimensional altamente resistente y duradera (Calvo, 2014).

Las resinas epóxicas tienen una amplia variedad de aplicaciones debido a su capacidad para unirse a una amplia gama de materiales y su resistencia a la corrosión y al desgaste. Se utilizan comúnmente en la fabricación de materiales compuestos para aplicaciones estructurales, así como en la producción de adhesivos, selladores, pinturas y recubrimientos (Calvo, 2014).

La elección de la resina epóxica adecuada dependerá del tipo de aplicación, las propiedades deseadas y las características del sustrato al que se aplicará. Las resinas epóxicas se pueden modificar con una amplia variedad de aditivos para mejorar su rendimiento en una aplicación específica (Calvo, 2014).

### c. Disolventes

Su función consiste en disolver el ligante para hacerlo manejable y facilitar de esta forma la aplicación de la pintura. Son sustancias líquidas a temperatura ambiente con baja tensión de vapor, que desaparecen por evaporación en el aire, una vez aplicada la pintura (Calvo, 2014).

Como agentes disolventes se suele utilizar agua o compuestos orgánicos volátiles (COV's) tales como tolueno, acetona, acetato de isobutilo, xileno, entre otros. Los disolventes orgánicos presentan un amplio potencial contaminante en estado líquido como gaseoso. En forma líquida su miscibilidad en agua varía en función de la naturaleza físico química del mismo, si bien con carácter general pueden producir efectos tóxicos sobre los organismos vivos (Calvo, 2014).

Las emisiones de COV's a la atmósfera, provocan la contaminación de esta desde sus capas bajas, troposfera, hasta sus capas más altas, estratosfera, siendo la acción más perjudicial la que ejercen los disolventes halogenados por su especial persistencia y reactividad. En la formulación de pinturas no se suelen utilizar disolventes halogenados (Calvo, 2014).

El empleo de agua como disolvente se ha extendido a numerosas aplicaciones tanto domésticas como industriales, por el menor impacto ambiental que producen, al disminuir la emisión a la atmósfera de volúmenes considerables de agente contaminantes, así como por otra parte contribuir a mejorar la seguridad de los trabajadores al disminuir los riesgos de incendio durante manipulación y aplicación (Calvo, 2014).

Otras ventajas interesantes de la pintura a base de agua las representan la facilidad y el ahorro conseguido en la limpieza de las mismas, ya que se realiza con agua, y la disminución de costos al poner la pintura a la viscosidad adecuada para la aplicación, esta operación se consigue también añadiendo agua frente al importante consumo de disolventes que se necesita utilizar en las pinturas convencionales (Calvo, 2014).

El uso de agua también presenta algunas desventajas que se derivan de sus propiedades fisicoquímicas. Su índice de evaporación es pequeño, con lo que se evapora más lentamente que otros disolventes como por ejemplo la acetona o el tolueno. De igual forma necesita una aportación de energía elevada para su vaporización. Estos inconvenientes se solventan prolongando el tiempo de secado y utilizando hornos más potentes. Su poder de disolución del ligante es menor que el del resto de disolventes. Tiene una tensión superficial elevada. Las pinturas de agua suelen utilizar pequeñas cantidades de disolventes especiales denominados cosolventes (alcoholes o glicoles), que tienen por finalidad ayudar a mejorar las propiedades del agua como agente disolvente (Calvo, 2014).

#### d. Cosolventes

Un cosolvente en pintura es un componente líquido que se utiliza para diluir o disolver otros componentes de la pintura para mejorar la aplicabilidad y la capacidad de secado (Calvo, 2014).

Los cosolventes se utilizan en algunos tipos de pinturas para ayudar a disolver componentes que son difíciles de disolver en agua o en otros solventes orgánicos. Por ejemplo, un cosolvente puede ayudar a disolver un pigmento grueso y difícil de mezclar, lo que mejora la homogeneidad y la apariencia de la pintura (Calvo, 2014).

Los cosolventes también pueden ayudar a controlar la viscosidad de la pintura, lo que la hace más fácil de aplicar y menos propensa a goteo o a derramarse (Calvo, 2014).

#### e. Aditivos

Los aditivos son sustancias que se añaden a las pinturas con el objetivo de mejorar sus propiedades y rendimiento. Algunos ejemplos de aditivos comunes en las pinturas incluyen:

- 1) Agentes de estabilización: ayudan a prevenir la separación de los componentes de la pintura y mejoran su estabilidad en el tiempo.
- 2) Agentes antienviejamiento: ayudan a proteger la pintura de los rayos UV y mejoran su resistencia al deterioro causado por la exposición al sol.
- 3) Agentes espesantes: ayudan a mejorar la viscosidad de la pintura y aumentar su capacidad de cubrir la superficie.
- 4) Agentes de desmoldeo: ayudan a mejorar la liberación de la pintura de las superficies moldeables.
- 5) Agentes de secado: ayudan a acelerar el proceso de secado de la pintura.

- 6) Agentes anti-espuma: ayudan a reducir la formación de burbujas en la pintura durante su aplicación.
- 7) Pigmentos: ayudan a mejorar el color y la opacidad de la pintura.
- 8) Agentes de deslizamiento: ayudan a mejorar la aplicabilidad de la pintura y reducir la fricción entre el pincel y la superficie pintada.

Algunos ejemplos de aditivos comunes en las pinturas incluyen:

- 1) Agentes de estabilización: poliacrilatos, polisacáridos, poliésteres.
- 2) Agentes antienviejecimiento: antioxidantes, estabilizadores UV.
- 3) Agentes espesantes: almidón, gomas, celulosas.
- 4) Agentes de desmoldeo: silicona, poliéter poliacrílico.
- 5) Agentes de secado: aceleradores de secado, catalizadores.
- 6) Agentes anti-espuma: silicona, poliéter poliacrílico.
- 7) Pigmentos: óxido de hierro, óxido de zinc, carbonatos de calcio.
- 8) Agentes de deslizamiento: silicona, poliéter poliacrílico.
- 9) Agentes de resistencia al agua: poliuretanos, silicona, poliéter poliacrílico.
- 10) Agentes anti-moho: sales de plomo, cobre, zinc.
- 11) Agentes de control de viscosidad: poliacrilatos, polisacáridos, poliésteres.
- 12) Agentes de control de espuma: silicona, poliéter poliacrílico.
- 13) Agentes de control de secado: aceleradores de secado, catalizadores.
- 14) Agentes de control de olor: esencias naturales, sintéticas.
- 15) Agentes de control de color: pigmentos orgánicos, inorgánicos.

Los aditivos son utilizados para mejorar las características de la pintura y adaptarla a diferentes aplicaciones, mejorando la resistencia al desgaste, a la humedad, al rayado, a la corrosión, a la intemperie y a la acción de los rayos UV (Hernández, 2013).

#### 1) Espesantes

Hay varios tipos de espesantes utilizados en la fabricación de pinturas y recubrimientos, incluyendo:

- 1) Espesantes celulósicos: Estos espesantes se derivan de la celulosa y son comúnmente utilizados en pinturas a base de agua. Ejemplos de espesantes celulósicos incluyen metilcelulosa, hidroxietilcelulosa y carboximetilcelulosa.
- 2) Espesantes acrílicos: Estos espesantes están basados en polímeros acrílicos y se utilizan comúnmente en pinturas de base acuosa. Ejemplos de espesantes acrílicos incluyen polímeros de ácido acrílico y copolímeros de ácido acrílico.
- 3) Espesantes de poliuretano: Estos espesantes están basados en polímeros de uretano y se utilizan en pinturas y recubrimientos de alto rendimiento. Ejemplos de espesantes de poliuretano incluyen poliuretanos modificados con urea y poliuretanos modificados con silicona.
- 4) Espesantes de silicato: Estos espesantes están basados en compuestos de silicato y se utilizan en pinturas y recubrimientos resistentes al agua. Ejemplos de espesantes de silicato incluyen silicatos de sodio y de potasio.

- 5) **Espesantes inorgánicos:** Estos espesantes se basan en compuestos inorgánicos y se utilizan comúnmente en pinturas de alta temperatura y en recubrimientos de protección contra la corrosión. Ejemplos de espesantes inorgánicos incluyen arcillas, bentonita y sílices pirogénicas.

(Hernández, 2013).

## 2) Cargas

Una carga en la pintura es un material que se agrega a la mezcla de pintura para modificar sus propiedades físicas, mejorar su rendimiento o reducir su costo. Las cargas son materiales inertes que no tienen efecto en el color o la apariencia de la pintura y se utilizan en menor cantidad que los pigmentos. Las cargas comunes en la pintura incluyen:

- 1) **Talco:** se utiliza para mejorar la adherencia de la pintura y reducir el costo.
- 2) **Carbonato de calcio:** se utiliza para mejorar la resistencia a la abrasión y reducir el costo.
- 3) **Sílice:** se utiliza como agente de refuerzo y para mejorar la dureza y la resistencia al desgaste.
- 4) **Barita:** se utiliza para aumentar el peso de la pintura y mejorar su capacidad de cubrir las imperfecciones del sustrato.
- 5) **Fosfato tricálcico:** se utiliza para mejorar la adherencia y la resistencia al desgaste de la pintura.

Las cargas son especialmente útiles en pinturas de bajo costo o para aplicaciones en las que se requiere una mayor durabilidad y resistencia a la abrasión. La adición de cargas puede afectar la viscosidad y la reología de la pintura, lo que puede requerir ajustes en la formulación y en el proceso de aplicación de la pintura (Calvo, 2014).

## 3) Carbonato de calcio

El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es usado en pinturas para dar mayor poder de cobertura, aumentando el rendimiento en la pintura. Los carbonatos son de gran blancura y no interfieren en el color de la pintura. Por ende, contribuyen a su opacidad y a que la pintura cubra, sin dañar las superficies. El carbonato de calcio además, da a las pinturas un tratamiento superficial que hace que sus partículas sean hidrofóbicas y de esta manera facilita su dispersión. Tiene una gran aplicación como cargas en pinturas a base de agua y de solvente. Además, es utilizado en industria de vidrio, hule, plástico, adhesivos y textiles (Calvo, 2014).

#### 4) Sulfato de Bario

La base principal de la pintura a desarrollar es el sulfato de bario, éste es un compuesto inorgánico con la fórmula  $BaSO_4$ . Es un sólido cristalino blanco, inodoro e insoluble en agua. Es sumamente estable térmicamente, degradándose solo a  $1580\text{ }^\circ\text{C}$ . Tiene una densidad relativa alta ( $4,48\text{ g/cm}^3$ ). La barita es quebradiza y su dureza promedio en la escala de Mohs es 3 a 3.5 La mayor parte del sulfato de bario sintético se utiliza como componente de pigmento blanco para pinturas (Laboratorium Discounter, 2021).

Hay dos características que dan a la pintura blanca una blancura adicional. Uno de ellos es la alta concentración de sulfato de bario. La segunda característica es que las partículas de sulfato de bario tienen diferentes tamaños en el recubrimiento. La cantidad de luz que dispersa cada partícula depende de su tamaño, por lo que una gama más amplia de tamaños de partículas permite que el recubrimiento disperse más del espectro de luz del sol (mayormente  $400\text{nm}$ ) (Laboratorium Discounter, 2021).

En aplicaciones de pintura y recubrimiento, la alta densidad de empaque de partículas de barita (debido a su forma de partícula) ayuda a mejorar el acabado de la superficie (y por lo tanto, el brillo), así como también aumenta la capacidad de sellado del recubrimiento y la resistencia asociada contra el impacto químico, la intemperie, y rayos ultravioleta. Debido a su alto índice de refracción, la barita puede proporcionar una cantidad limitada de ocultamiento en los revestimientos. Desde una perspectiva de ahorro de costos, la barita también puede extender y reemplazar pigmentos y resinas de mayor costo mientras mantiene o incluso mejora sus características. Dado que la barita no es particularmente dura, ayuda a minimizar el desgaste del equipo de la planta y también se lija fácilmente para obtener capas adicionales de pintura. Se humedece rápidamente, por lo que se dispersa con bastante facilidad y tiene un pH neutro, lo que proporciona una baja reactividad con los aglutinantes y ayuda a prevenir reacciones negativas en los sistemas de pintura (Calvo, 2014).

La alta densidad de la barita se considera típicamente negativa en pinturas y revestimientos debido a su tendencia a asentarse. Sin embargo, existen ciertas aplicaciones en las que la alta densidad proporciona beneficios, como los revestimientos de los bajos, donde ayuda a sellar el ruido y los contaminantes de la carretera (como la sal), proporcionando una cierta cantidad de resistencia química y a la intemperie (Calvo, 2014).

## 2. Factores adicionales de una pintura

### a. Contenido orgánico volátil

COV es un acrónimo que significa "contenido orgánico volátil". En el contexto de las pinturas, se refiere a la cantidad de compuestos orgánicos volátiles que se evaporan de la superficie de la pintura después de su aplicación. El COV se mide en porcentaje del peso total de la pintura. Un alto COV en una pintura puede ser perjudicial para la salud y el medio

ambiente, ya que algunos de estos compuestos pueden ser tóxicos o inflamables. Por esta razón, en muchos países existen regulaciones que limitan el COV en las pinturas y otros productos químicos (Calvo, 2014).

#### b. PVC

Pigment Volume Concentration (PVC) es una medida que indica la cantidad de pigmento presente en una pintura, expresada como un porcentaje del volumen total de la pintura. Es un factor importante en la calidad y las características de la pintura, ya que puede influir en su apariencia, resistencia a la abrasión, resistencia a la decoloración y otras propiedades (Calvo, 2014).

#### c. CPVC

La Concentración Crítica de Volumen de Pigmento (Critical Pigment Volume Concentration, CPVC) es una medida de la cantidad máxima de pigmento que se puede agregar a una pintura sin que afecte su capacidad para cubrir uniformemente la superficie que se está pintando. La CPVC se determina a partir de la concentración de pigmento en una pintura y su capacidad para cubrir la superficie con una capa uniforme. Una vez que se alcanza la CPVC, agregar más pigmento a la pintura puede resultar en una disminución en la calidad de la pintura, como una menor capacidad para cubrir uniformemente la superficie (Calvo, 2014).

Los factores que afectan el CPVC incluyen la viscosidad del vehículo, la forma y tamaño de las partículas de pigmento, y la interacción entre las partículas de pigmento y el vehículo. Otros factores que pueden afectar el CPVC incluyen la humedad, la temperatura y la presión. Se debe calcular el CPVC para cada tipo de pigmento y medio de disolución utilizado en la formulación de la pintura (Calvo, 2014).

#### d. Factor de empaquetamiento

El factor de empaquetamiento en pintura es una medida de la cantidad de pigmento que se encuentra en la matriz líquida de una pintura. Se refiere a la densidad de los pigmentos en la solución y se utiliza para determinar el rendimiento y la calidad de la pintura. Un factor de empaquetamiento más alto significa que hay más pigmento por unidad de volumen, lo que puede mejorar la opacidad y la resistencia de la pintura. Sin embargo, también puede aumentar la viscosidad de la solución y requerir un mayor tiempo de mezclado para lograr una distribución uniforme del pigmento (Calvo, 2014).

### 3. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación inicia con la preparación de las materias primas a utilizar (resina, disolventes, pigmentos, aditivos), seguido de su mezcla y dispersión para posteriormente realizar una molienda y dilución de los componentes principales y luego añadir los aditivos. Se realiza el ajuste necesario para obtener la pintura deseada y se controla la composición de la

misma, que después de ser filtrada se envasa y queda preparada para su comercialización (Calvo, 2014).

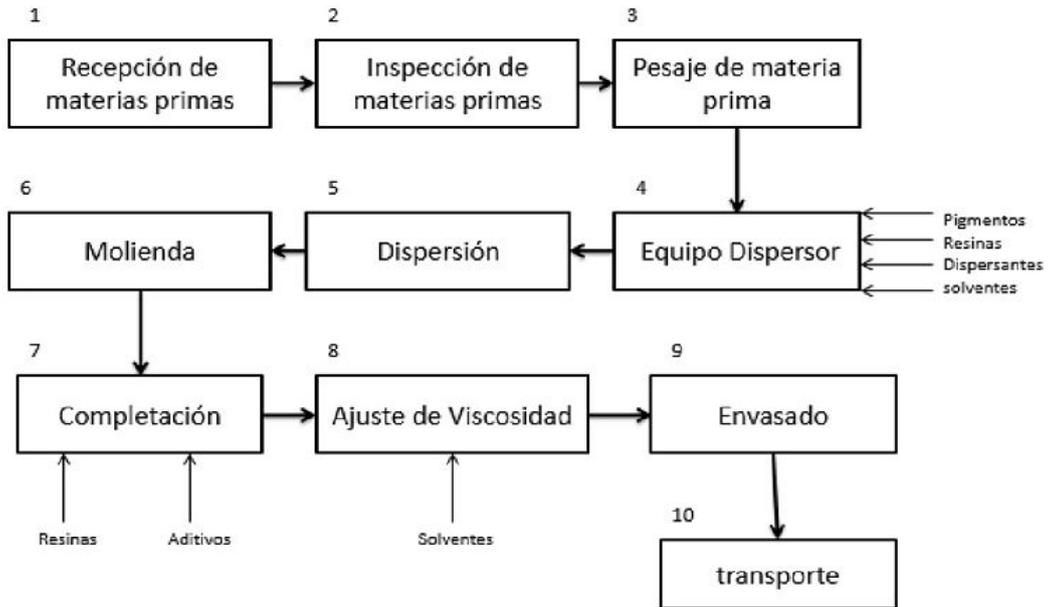
Se deben ir probando y midiendo las cantidades para obtener la textura, color y viscosidad. También es importante tomar en cuenta en la formulación y diseño las emanaciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) al ambiente, ya que deben ser la menor cantidad posible (Calvo, 2014).

Hay varios factores importantes a tener en cuenta al fabricar una pintura, algunos de ellos son:

- 1) Calidad de los ingredientes: es esencial utilizar ingredientes de alta calidad para garantizar que la pintura sea resistente, duradera y tenga un acabado uniforme.
- 2) Mezcla adecuada: es importante mezclar los ingredientes en las proporciones correctas para garantizar que la pintura tenga la consistencia adecuada y cubra de manera uniforme.
- 3) Protección ambiental: es importante utilizar ingredientes no tóxicos y respetar los estándares de seguridad y medio ambiente.
- 4) Adherencia: la pintura debe adherirse bien a la superficie a pintar, y ser resistente a los factores externos.
- 5) Durabilidad: la pintura debe ser resistente a las condiciones climáticas, a la humedad, y a la acción de los rayos UV.
- 6) Estética: el acabado debe ser atractivo y debe cumplir con los requerimientos estéticos.
- 7) Costo: es importante mantener un equilibrio entre el costo y la calidad, para que el producto sea accesible para el público.

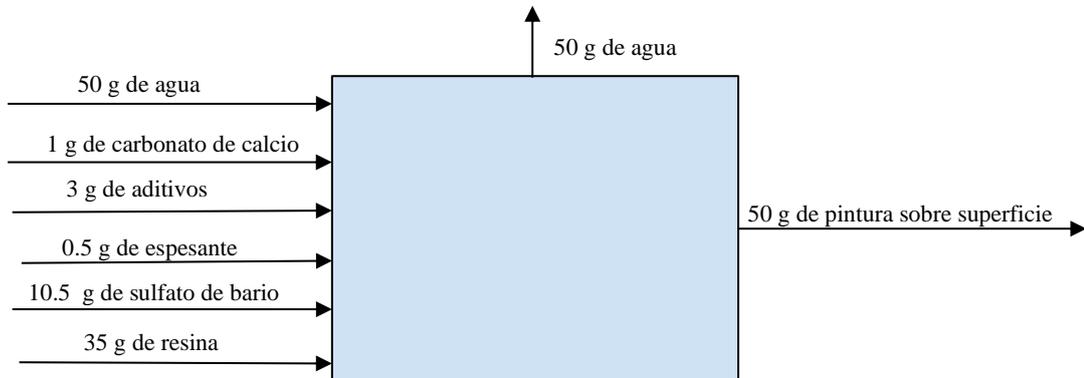
(Calvo, 2014).

Figura No. 13 Diagrama de bloques del proceso de fabricación de pintura



(Noguera, 2021).

Figura No. 14 Balance de masa teórico



Cálculo No. 1 Balance de energía teórico

a. Determinación de transferencia de calor por conducción teórica

$$q = \frac{A(\Delta T_{global})}{\sum R_{térmicas}} \quad (4)$$

$$q = -ka * A \frac{T_2 - T_1}{\Delta xa} = -kb * A \frac{T_3 - T_2}{\Delta xb}$$

(Cengel, 2011).

Sustituyendo valores:

$$q = -10W/mK * 0.1369m^2 * \frac{(16.25 - 16.35)^\circ C}{0.00159m}$$

$$q = 86.1 W/m^2$$

a. Si una pintura está por debajo del límite inferior del rango (1000-5000 cP.), se considera una pintura muy líquida. Esto puede indicar varios problemas, algunos ejemplos son:

- Exceso de diluyente: si se agrega demasiado diluyente a la mezcla, la viscosidad de la pintura puede quedar por debajo del rango de aceptación y no tener la consistencia adecuada para su aplicación. Esto puede afectar la capacidad de la pintura para cubrir y adherirse a la superficie.
- Mezcla inadecuada: si los ingredientes no se mezclan correctamente, puede haber un desequilibrio en las proporciones de pigmentos, aglutinantes, diluyentes y aditivos, lo que puede causar una pintura con baja viscosidad.
- Problemas con la calidad de los ingredientes: si los ingredientes utilizados para la fabricación de la pintura son de baja calidad o están caducados, pueden afectar la consistencia de la pintura.
- Problemas con el envase: si el envase no está limpio o tiene fugas, puede permitir que los ingredientes se evaporen, lo que puede afectar la consistencia de la pintura.

b. Para corregir estos problemas se puede hacer lo siguiente:

- 1) Añadir más pigmento: si la pintura tiene baja viscosidad, se puede añadir más pigmento para espesarla y mejorar su consistencia. Asegurarse de mezclar bien los ingredientes.
- 2) Reducir el diluyente: si la pintura tiene demasiado diluyente, se puede reducir la cantidad para espesarla y mejorar su consistencia. Ten en cuenta que esto puede afectar la capacidad de la pintura para cubrir y adherirse a la superficie.
- 3) Usar un espesante: se pueden utilizar productos específicos llamados espesantes para espesar una pintura de baja viscosidad. Estos productos ayudan a aumentar la viscosidad de la pintura y mejorar su consistencia.
- 4) Aplicar la pintura en capas delgadas: aunque la pintura esté con baja viscosidad para cubrir la superficie en una sola capa, se puede aplicar varias capas delgadas para lograr una buena cubrición.

(Calvo, 2014).

c. Si una pintura está muy viscosa por arriba del límite superior del rango (1000-5000 cP.), puede indicar varios problemas, algunos ejemplos son:

- Exceso de pigmentos: si se agrega demasiado pigmento a la mezcla, la pintura puede quedar demasiado viscosa y difícil de aplicar. Esto puede afectar la capacidad de la pintura para cubrir y adherirse a la superficie.
- Mezcla inadecuada: si los ingredientes no se mezclan correctamente, puede haber un desequilibrio en las proporciones de pigmentos, aglutinantes, diluyentes y aditivos, lo que puede causar una pintura viscosa.
- Problemas con la calidad de los ingredientes: si los ingredientes utilizados para la fabricación de la pintura son de baja calidad o están caducados, pueden afectar la consistencia de la pintura.
- Problemas con el envase: si el envase no está limpio o tiene fugas, puede permitir que los ingredientes se evaporen, lo que puede afectar la consistencia de la pintura.

En general, si la pintura está muy viscosa, es posible que sea difícil de aplicar y no proporcione una buena cobertura o adherencia. Puede ser necesario volver a mezclar los ingredientes o descartar la pintura (Calvo, 2014).

d. Para corregir esto se puede hacer lo siguiente:

- 1) Añadir diluyente: si la pintura está demasiado viscosa, según el rango mencionado, se puede añadir diluyente en la medida necesaria, para que la aplicación sea más fácil. Asegurarse de mezclar bien los ingredientes.
- 2) Usar un diluyente específico: algunas pinturas requieren un diluyente específico para lograr la consistencia adecuada. Asegurarse de usar el diluyente recomendado por el fabricante.
- 3) Usar un agitador eléctrico: se puede usar un agitador eléctrico para mezclar la pintura y asegurarse de que los ingredientes estén bien distribuidos.
- 4) Usar una bomba de pintura: si la pintura es muy viscosa para ser aplicada con un rodillo o un pincel, se puede usar una bomba de pintura para aplicarla con mayor facilidad.

(Calvo, 2014).

e. Equipos utilizados en el proceso

Algunos de los equipos más comunes incluyen:

- 1) Dispersores: son utilizados para mezclar y homogenizar los ingredientes de la pintura.
- 2) Agitadores: se utilizan para mantener la mezcla uniforme durante la fabricación y almacenamiento.
- 3) Bombas de transferencia: se utilizan para transferir los ingredientes de un tanque a otro.

- 4) Tanques de almacenamiento: se utilizan para almacenar los ingredientes y la mezcla de la pintura antes y después del proceso de mezclado.
- 5) Filtración y separación: se utilizan para filtrar la mezcla y eliminar impurezas antes del embotellado y el envío.
- 6) Sistemas de dosificación: se utilizan para medir y dosificar los ingredientes con precisión antes de la mezcla.
- 7) Sistemas de envasado y etiquetado: se utilizan para embotellar y etiquetar la pintura terminada para su envío y venta.

(Calvo, 2014).

## 1) Dispersores

Un dispersor en la fabricación de pinturas sirve para mezclar y homogeneizar los ingredientes de la pintura para crear un producto uniforme y de calidad. El dispersor utiliza un sistema de agitación, que puede ser por ejemplo palas o cuchillas que giran a alta velocidad, para romper los grumos y agitar los ingredientes de la pintura. Esto asegura una distribución uniforme de los componentes en la mezcla, lo que resulta en una textura suave y una apariencia uniforme en la superficie cuando se aplica la pintura. Además, el uso de un dispersor también puede ayudar a reducir los tiempos de producción y mejorar la eficiencia en la fabricación de la pintura (Calvo, 2014).

Hay varios tipos de dispersores que se utilizan en la fabricación de pinturas. Algunos de los más comunes incluyen:

- 1) Dispersores de palas: son dispositivos que mezclan los ingredientes de la pintura mediante el uso de palas que giran a altas revoluciones.
- 2) Dispersores de cuchilla: son similares a los dispersores de palas, pero utilizan una cuchilla en lugar de palas para agitar y mezclar la mezcla.
- 3) Dispersores de agitación por turbulencia: son dispositivos que generan turbulencias en la mezcla de la pintura para homogeneizar los ingredientes.
- 4) Dispersores de presión: son dispositivos que utilizan alta presión para mezclar y homogeneizar los ingredientes de la pintura.
- 5) Dispersores de alta velocidad: son dispositivos que mezclan los ingredientes de la pintura mediante la rotación a altas revoluciones

(Calvo, 2014).

## 2) Agitador

Un agitador en la fabricación de pinturas sirve para mantener una mezcla uniforme de los ingredientes de la pintura. Una vez que se ha mezclado y homogeneizado la pintura con un dispersor, es importante mantener la mezcla uniforme para evitar que los componentes se

separen o sedimenten. El uso de un agitador ayuda a asegurar que la mezcla sea uniforme durante el proceso de fabricación, el almacenamiento y el transporte (Calvo, 2014).

El diseño de un agitador puede variar, pero en general consiste en un eje que gira lentamente y puede tener palas o cuchillas que ayudan a mantener la mezcla uniforme. La velocidad de giro de un agitador es generalmente mucho menor que la de un dispersor, pero sigue siendo lo suficientemente alta como para mantener la mezcla uniforme (Calvo, 2014).

### 3) Diferencia entre dispersor y agitador

Un dispersor y un agitador son dos tipos de equipos que se utilizan en la fabricación de productos líquidos, incluyendo las pinturas. Sin embargo, existen diferencias clave entre ellos:

- 1) Propósito: El propósito principal de un dispersor es romper los grumos y mezclar los ingredientes de la pintura para crear una mezcla homogénea. Por otro lado, el propósito de un agitador es mantener una mezcla uniforme y evitar que los componentes se separen o sedimenten.
- 2) Diseño: Un dispersor suele tener un diseño más complejo que un agitador, con piezas móviles como palas o cuchillas que giran a alta velocidad para romper los grumos y mezclar los ingredientes. Por otro lado, un agitador puede tener un diseño más simple, como un eje que gira lentamente para mantener la mezcla uniforme.
- 3) Velocidad de giro: La velocidad de giro de un dispersor suele ser mayor que la de un agitador, lo que permite romper los grumos y mezclar los ingredientes de la pintura de manera efectiva.
- 4) Uso: Un dispersor se utiliza en la fase inicial de la fabricación de la pintura para crear una mezcla homogénea, mientras que un agitador se utiliza después para mantener la mezcla uniforme mientras se almacena o se transporta.

(Calvo, 2014).

### 4. Pruebas de aceptación para la pintura

Las pruebas de aceptación para una pintura de exterior varían según la normativa y el requerimiento específico del cliente. Sin embargo, algunas de las pruebas más comunes incluyen:

- 1) Adherencia: para asegurarse de que la pintura adhiera adecuadamente a la superficie.
- 2) Durabilidad: para evaluar la resistencia a factores ambientales como la lluvia, la nieve, la humedad, el viento, la abrasión y la intemperie.
- 3) Color y Brillo: para evaluar si la apariencia de la pintura cumple con los requerimientos del cliente.
- 4) Resistencia a manchas y decoloración: para evaluar si la pintura es resistente a las manchas y la decoloración causadas por la luz solar, la polución y otros factores ambientales.

- 5) Prueba de envejecimiento: para evaluar la resistencia a la decoloración y la descomposición a largo plazo debido a la acción de los rayos UV y la intemperie.
- 6) Prueba de resistencia a la humedad: para evaluar si la pintura es resistente a la absorción de agua y la formación de moho.
- 7) Ensayo de resistencia a los rayos UV: evalúa la capacidad de la pintura para resistir la acción de la luz solar y los rayos UV.
- 8) Ensayo de resistencia a los cambios térmicos: evalúa la capacidad de la pintura para resistir los cambios de temperatura y mantener su color y apariencia.
- 9) Ensayo de resistencia química: evalúa la capacidad de la pintura para resistir la acción de productos químicos y gases corrosivos.

(Calvo, 2014).

#### a. Adherencia

Una prueba de aceptación de adherencia para la pintura es un proceso que se lleva a cabo para determinar la capacidad de la pintura para adherirse a la superficie que se está pintando y mantenerse en su lugar sin desprenderse o descascararse. La prueba se realiza mediante un ensayo de tensión y tracción en el que se aplica una fuerza a la superficie pintada para evaluar su capacidad de adherencia. El proceso puede variar dependiendo de los estándares industriales y las especificaciones del proyecto, pero en general, se puede realizar una combinación de ensayos mecánicos, visuales y/o químicos para determinar la calidad y la durabilidad de la adherencia de la pintura (Calvo, 2014).

#### b. Durabilidad

La prueba de aceptación de durabilidad para la pintura se realiza para evaluar su resistencia a factores externos como la intemperie, la humedad, la exposición a la luz solar, la corrosión y otros. Se puede realizar mediante diferentes métodos, incluyendo:

- 1) Pruebas de envejecimiento artificial: consiste en exponer la muestra de pintura a condiciones simuladas de envejecimiento, como cambios de temperatura y humedad, exposición a la luz UV y otros.
- 2) Pruebas de resistencia a la intemperie: consiste en exponer la muestra de pintura a la lluvia, la nieve, el viento y otros factores climáticos.
- 3) Pruebas de resistencia a la corrosión: consiste en evaluar la capacidad de la pintura para proteger la superficie metálica contra la corrosión.
- 4) Pruebas de envejecimiento natural: consiste en exponer la muestra de pintura a las condiciones naturales de envejecimiento en un sitio específico.

(Calvo, 2014).

### c. Color

La prueba de color puede incluir la comparación del color de la pintura con muestras estándar, la medición del brillo y la saturación, y la evaluación visual por un juez. También se pueden realizar pruebas en condiciones simuladas, como en una cámara de envejecimiento artificial, para evaluar cómo el color de la pintura se verá con el tiempo y bajo diferentes condiciones climáticas (Calvo, 2014).

### d. Brillo

La prueba de aceptación de brillo se realiza mediante la medición cuantitativa del brillo superficial de una muestra de pintura. El brillo en una pintura se puede medir en varias dimensiones, como la reflectancia, el ángulo de incidencia y la dirección de la observación.

La reflectancia mide la cantidad de luz que se refleja en una superficie y se puede expresar como un porcentaje o en unidades de brillo. El ángulo de incidencia afecta la cantidad de luz que se refleja en una superficie y, por lo tanto, su brillo. La dirección de la observación también puede afectar el brillo percibido, ya que la luz puede reflejarse de manera diferente en diferentes direcciones (Calvo, 2014).

Gloss Unit (GU) es una unidad de medida utilizada en la industria de la pintura para describir el brillo de una superficie pintada. La escala de brillo se extiende desde 0 GU para una superficie opaca hasta 100 GU para una superficie muy brillante. Una mayor GU significa una mayor cantidad de luz reflejada por la superficie, lo que se traduce en un brillo más alto. Se utiliza para garantizar que la pintura cumpla con los requisitos establecidos en términos de apariencia y rendimiento (Schweigge, 2015).

Además de la unidad de brillo (GU), existe otra medida de brillo comúnmente utilizada en la industria de la pintura, que es el ángulo de brillo, también conocido como ángulo de reflexión esférica. Este ángulo se mide en grados y refleja la cantidad de luz que se refleja en una superficie y cómo se dispersa la luz en un patrón esférico (Schweigge, 2015).

El ángulo de reflexión esférica es una medida utilizada para evaluar la brillantez y la uniformidad de una superficie. Se refiere al ángulo formado entre una dirección de incidencia de luz y una dirección de reflexión. En una superficie brillante, la luz es reflejada en una dirección específica, formando un ángulo de reflexión esférica. La mayor reflexión esférica indica una superficie más brillante y uniforme. Esta medida se utiliza comúnmente en la evaluación de materiales como la pintura (Schweigge, 2015).

El aparato utilizado para medir el brillo de una pintura se conoce como medidor de brillo o glossímetro. Existen diferentes tipos de glossímetros que se pueden utilizar para medir el brillo de una superficie pintada, incluyendo los glossímetros de reflexión, los glossímetros de transferencia y los glossímetros de ángulo de incidencia. Todos ellos tienen en común medir la cantidad de luz reflejada por una superficie a una determinada dirección y ángulo. La muestra

de pintura se coloca en una superficie plana y se ilumina con una fuente de luz específica y se mide el brillo desde un ángulo específico. El resultado se compara con los estándares establecidos para la pintura y se determina si cumple o no con los requisitos de brillo esperados (Schweigger, 2015).

#### e. Resistencia a rayos UV

La prueba de resistencia a los rayos UV de una pintura se realiza mediante la exposición de una muestra de la pintura a una fuente de luz UV intensa y constante, simulando los efectos de la radiación solar. Se mide la cantidad de luz UV reflejada y se compara con la cantidad inicial antes de la exposición. Si la cantidad reflejada disminuye significativamente después de la exposición, significa que la pintura se ha dañado y ha perdido resistencia a los rayos UV. Este tipo de prueba se utiliza para evaluar la calidad y la durabilidad de una pintura para aplicaciones exteriores, en las que está expuesta a los rayos UV durante su vida útil (Calvo, 2014).

### 5. Rendimiento de la pintura

Para calcular el rendimiento de la pintura en metros cuadrados ( $m^2$ ) de superficie, se necesita conocer la cantidad de pintura que se utiliza y la cobertura teórica de la pintura, que se expresa en metros cuadrados por litro ( $m^2/L$ ). El rendimiento de la pintura se calcula utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación No. 12 Rendimiento de la pintura  $m^2/L$ .

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{m^2}{L} \right) = \frac{\text{Área pintada} (m^2)}{\text{Pintura utilizada} (L)} \quad (12)$$

Para obtener una estimación más precisa del rendimiento de la pintura, se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Medir el área de la superficie que se pintará en metros cuadrados ( $m^2$ ).
- 2) Aplicar la pintura y anotar la cantidad de pintura utilizada en litros (L).
- 3) Calcular el rendimiento de la pintura utilizando la fórmula mencionada anteriormente

El resultado dará la cobertura teórica de la pintura, es decir, cuántos metros cuadrados puede cubrir con un litro de pintura.

### 6. Recomendaciones de uso y aplicación

Cuando se utiliza en una pintura como aislante, es importante seguir ciertas recomendaciones para lograr un buen rendimiento y resultados efectivos.

- 1) Preparación de la superficie: Antes de aplicar la pintura, asegurar que la superficie esté limpia, seca y libre de suciedad, polvo, grasa u otros contaminantes. Es recomendable

realizar una adecuada preparación de la superficie mediante limpieza, lijado y reparación de imperfecciones para obtener mejores resultados.

- 2) Aplicación uniforme: La pintura debe aplicarse de manera uniforme en la superficie. Utiliza brochas, rodillos o pistolas de pintura adecuados para lograr una cobertura uniforme y evitar acumulaciones o áreas con falta de pintura.
- 3) Capas múltiples: Dependiendo de la calidad de aislamiento que se requiera, se pueden aplicar múltiples capas de pintura. Si se busca un mayor aislamiento térmico, se recomienda aplicar al menos dos o más capas de pintura.
- 4) Tiempo de secado: Permitir que cada capa de pintura seque adecuadamente antes de aplicar la siguiente.
- 5) Temperatura y humedad: Considerar las condiciones ambientales durante la aplicación de la pintura. Evita aplicar la pintura en temperaturas extremas o en días lluviosos para asegurar una buena adherencia y curado.
- 6) Ventilación: Asegúrate de que haya una buena ventilación durante y después de la aplicación de la pintura, especialmente si se utiliza pintura a base de componentes tóxicos.
- 7) Seguridad: Usa equipos de protección personal adecuados, como guantes, durante la aplicación de la pintura.
- 8) Mantenimiento: Para asegurar el rendimiento del aislante a base de pintura de sulfato de bario, realiza mantenimiento.

La pintura a base de sulfato de bario es recomendable aplicarla en exterior de casas y edificios para aislamiento térmico. Se debe evitar el contacto directo con el sulfato de bario y la ingestión, preferible aplicar en un lugar ventilado.

## VI. METODOLOGÍA

### Listado de equipos y reactivos

#### Equipos

1. Dispensador marca IKA modelo T25 rango de medición 300-25000 rpm.
2. Viscosímetro marca IKA modelo Rotavisc rango de medición de 0-20000 centipoises.
3. Balanza marca Precisión ACS6-ZE14 con rango de medición de 0-3000 gramos.
4. Glossímetro marca Rhopoint Novo-Gloss rango de medición 20°/60°/85° GU.
5. Termómetro digital Electrometer 212 rango de medición -49.99 a 299.99°C.
6. Termómetro láser marca Digi-Sense 20250-05 con medición de 0-200°C.
7. Termocupla marca Extech TM25 con medición de -40 a 200°C.
8. Bombilla Standard Par 38 con unidades de medición Watts.
9. Aplicador marca Bird modelo BGD201/10 de medición milímetros.
10. Termómetro digital Fluke 59 Mini IR de -30 a 500°C.

(Para más detalles ver Anexos - Cuadro No. 58)

#### Reactivos

1. Resina epóxica marca Sika 100%
2. Agua pH 7.0
3. Sulfato de bario marca Promisa dureza en Escala Mohs de 3
4. Carbonato de calcio marca Promisa pureza > 98%
5. Espesante
6. Aditivos

(Para más detalles en Anexos - Cuadro No. 59 y fichas técnicas adjunto)

### Elaboración de pintura

#### Proceso de elaboración

La formulación de una pintura se determina mediante un proceso de prueba y error y a través de la investigación y el conocimiento de los ingredientes y su interacción. A continuación, se presentan los pasos generales que se siguieron para determinar la formulación de la pintura desarrollada:

1. Establecer las especificaciones de la pintura: Esto implica definir las características que se desea que tenga la pintura, como el tipo de superficie a cubrir, el acabado deseado, la durabilidad, la resistencia a la intemperie y la adherencia.

2. Selección de materias primas: Se seleccionan las materias primas de la pintura que se consideran adecuados para lograr las especificaciones que se desean. Estos materiales incluyen la resina, los pigmentos, las cargas, los solventes y los aditivos.
  - a. Selección de la resina: Las resinas más comunes para pinturas de exterior incluyen acrílicos, alquídicos, epoxis y poliuretanos. La resina debe ser resistente a la intemperie, la radiación UV y los cambios de temperatura.
  - b. Selección del vehículo: El vehículo de la pintura es el componente que disuelve la resina y la ayuda a adherirse a la superficie. Los vehículos comunes incluyen aceites, solventes, agua y mezclas de solventes. Para pinturas de exterior, se deben seleccionar vehículos resistentes a la intemperie y que permitan una buena aplicación y secado.
  - c. Selección de pigmentos y cargas: Los pigmentos y cargas son los componentes que le dan color y textura a la pintura. Los pigmentos deben ser resistentes a la decoloración y al agrietamiento por la exposición al sol. Las cargas deben ser resistentes al desgaste y a la abrasión.
  - d. Selección de aditivos: Los aditivos se utilizan para mejorar las propiedades de la pintura, como la resistencia al agua, la adherencia, la flexibilidad y la resistencia al desgaste. Los aditivos comunes incluyen espesantes, dispersantes, inhibidores de corrosión y agentes antiespumantes.
3. Elaboración de prototipos: Se mezclan los ingredientes en diferentes proporciones para producir prototipos de pintura. Los prototipos se prueban para determinar su rendimiento en términos de apariencia, adherencia, durabilidad, resistencia a la intemperie, entre otros.
4. Modificación de la formulación: Los resultados de las pruebas se utilizan para modificar la formulación de la pintura hasta que se logre el rendimiento deseado.
5. Pruebas de campo: La formulación final se somete a pruebas en condiciones de campo para verificar su rendimiento y ajustarla si es necesario.

## Formulación

1. Pesar materias primas a utilizar. Utilizando de base 500 gramos de pintura se tienen los siguientes porcentajes.

Cuadro No. 1 Porcentaje de las materias primas utilizadas para la elaboración de pintura blanca a base de sulfato de bario.

<b>Materia prima</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	50% g/g
Carbonato de calcio	1% g/g
Espesante	0.5% g/g
Resina	35% g/g
Aditivos	3% g/g
Sulfato de Bario	10.5% g/g

\* Medido a 23°C y 30.16 mmHg

\* La concentración de Sulfato de Bario se fue cambiando para tener distintas muestras. Se realizaron 7 muestras distintas ya que lo que se pretende es encontrar la muestra que obtenga mejores resultados en temperatura y sea aceptada en el aspecto fisicoquímico. La formulación se realiza manteniendo las mismas proporciones entre los demás componentes y solamente se varía el porcentaje de sulfato de bario. Las muestras se fueron variando de 50 gramos en 50 gramos hasta que un sedimento de pigmento no se incorporó a la pintura. También se analizó la pintura en las pruebas fisicoquímicas, al aplicar la pintura en la superficie la muestra 7 que corresponde a 25% de sulfato de bario ya no pasó las pruebas fisicoquímicas. Por esta razón se hicieron 7 muestras. Lo que se desea es explorar si el sulfato de bario como pigmento tiene el potencial de aislamiento pasivo sobre los hogares. Es una línea exploratoria, las mediciones se cuadruplicaron para tener una medida de variabilidad de los datos y que no sea un efecto aleatorio. No se desea validar un proceso de fabricación para tener tantos datos, solo conocer si es factible.

2. Pesar en la balanza las materias primas a utilizar.
3. Agregar dentro de un contenedor aglutinantes y aditivos líquidos para preparar la mezcla inicial.
4. Mezclar a 200 rpm, utilizando un dispersor de pala de nivel laboratorio por 10 minutos. La velocidad de mezclado se ajusta para obtener una consistencia uniforme de la mezcla sin causar un exceso de burbujas o aire en la pintura.
5. Luego, agregar el pigmento en forma de polvo. Esto forma grumos. Conforme se da el mezclado se va homogeneizando. Se continúa mezclando con el dispersor por aproximadamente 10 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

## **Caracterización de la pintura**

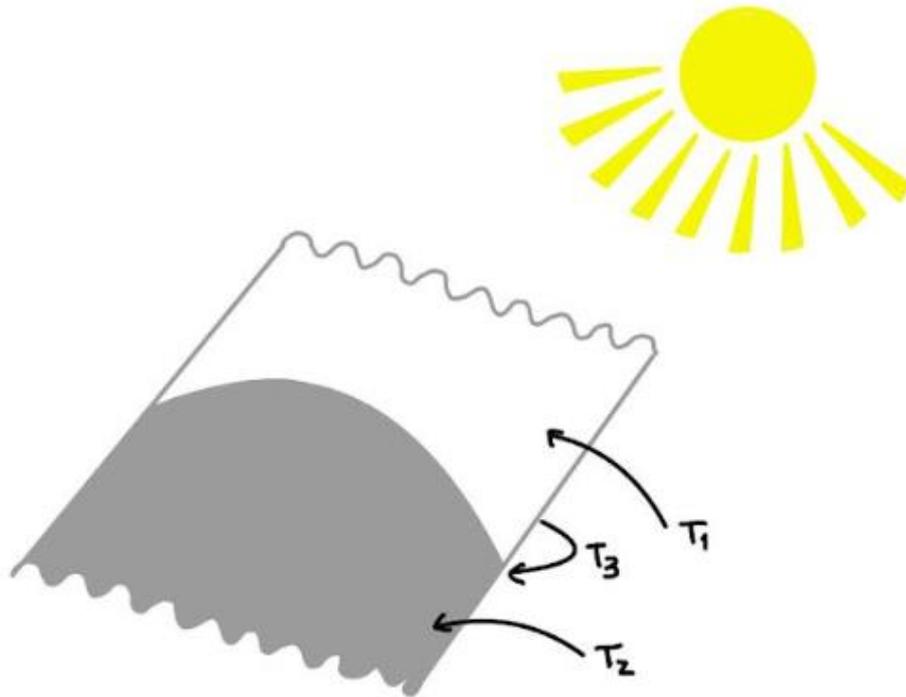
1. Al terminar la mezcla, realizar una prueba de viscosidad haciendo girar un cilindro metálico dentro de la pintura utilizando un pin L4 a 20 rpm y 26.5°C. Esto mide la viscosidad según la resistencia que tiene la pintura. De no tener la viscosidad que se desea se puede diluir hasta alcanzar la que se desea.
2. Realizar una prueba de control de color con una muestra dada o con el color que se desea obtener. Se debe realizar para ambos casos una capa fina y otra gruesa para ver no solo la tonalidad final si no también la tonalidad de fondo. Comparar visualmente con una pintura comercial blanca para aprobar el color.
3. Hacer una prueba de secado, pintando una superficie con grosor de 0.3 mm y se toma el tiempo tocándolo cada 5 minutos. Hasta que ya no se pegue al dedo ni se perciba húmedo, la pintura está totalmente seca y ese es su tiempo de secado.
4. Realizar la prueba de brillo con el glossímetro para determinar si la pintura es brillante, semi brillante o mate.
5. Hacer una prueba de estabilidad, en donde se deja reposar la pintura durante un tiempo (aproximadamente 1 hora) para comprobar que no cambien sus propiedades.
6. Luego de esto se procede a envasar y almacenar.

## **Pruebas de aceptación**

1. Hacer análisis de olor para cada pintura, tomar una muestra y clasificarla como no aceptable si el olor de la muestra no es adecuado para el uso de disolvente previsto en comparación con el estándar. Si el olor residual no es detectable en el papel de muestra después de que los papeles estándar y de muestra parezcan secos, notifique el olor como "aceptable". Se asume que el estándar aceptable tanto para el consumidor como para el fabricante no tiene residuos de olor detectables. Si el olor persiste en el papel de muestra después de que no se pueda detectar ningún olor en el papel estándar, notificar el olor como "residual" (Eurolab, 2023).
2. Para la muestra de color, el color generado siempre es comparado con su estándar y la intención es que no exista ningún tipo de diferencia entre ambos. Se realizan análisis y pruebas para controlar minuciosamente el color.
3. Para la prueba de tacto, se debe pintar una superficie y dejar secar. Al pasar el tiempo de secado se debe pasar el dedo por encima, no debe quedar tiza de la pintura en el dedo para que sea aceptada.
4. Hacer una prueba de aceptación impermeable al agua, pintar una superficie con la pintura desarrollada y echar agua para ver la lavabilidad.
5. Realizar prueba de resistencia al UV, dejando la superficie pintada en el exterior durante todo el día. Al transcurrir el día, analizar si la pintura está deteriorada o sigue igual.
6. Pintar una superficie y revisar si la pintura tiene grietas y/o fisuras al transcurrir el tiempo de secado. Si no pasa esto, la pintura es aceptada para la prueba de textura.

7. Analizar en la superficie pintada si la pintura tiene una alta adherencia, no se debe despegar de la superficie. Una cinta especial se aplica firmemente sobre el área de prueba de la trama cruzada y se retira rápidamente tirando de la cinta hacia atrás del área de prueba para revelar la cantidad de recubrimiento levantada por la cinta de prueba.

Figura No. 15 Esquema de medición de temperatura



En esa figura se muestra la medición de temperatura que se realizó con termómetro de termocupla marca Extech TM25 y con una hora de exposición al sol a mediodía, las condiciones del día se detallan en el Cuadro No. 24 y las temperaturas obtenidas de cada muestra se detallan en los cuadros 25 al 32 para cielo semi despejado. Para cielo despejado, se detallan las condiciones del día en el Cuadro No. 33 y las temperaturas obtenidas de cada muestra desarrollada se muestran en los cuadros 34 al 41. Esto se encuentra en la sección de Anexos en Datos Obtenidos. Como se muestra en la figura, la T1 corresponde a la temperatura tomada de la pintura para cada muestra realizada respectivamente, la T2 corresponde a la lámina por arriba, la que está expuesta al sol directamente y la T3 corresponde a la lámina por debajo.

## Mediciones de temperatura

1. Luego de realizar las pinturas, pintar una lámina por cada muestra realizada.
2. La aplicación de pintura se debe realizar con un equipo especial para asegurar el mismo espesor de pintura en toda la placa. El utilizado se muestra en la figura No. 44. Es un aplicador marca Bird modelo BGD201/10 de espesor 0.3mm, según el siguiente cuadro:

Figura No. 16 Parámetros de espesor según aplicador marca Bird

Main Technical Parameters:	
★ Effective Wet Film Width :	100mm
★ The total length:	130mm
★ Ordering information:	
BGD 201/1: 25μm	BGD 201/2: 37.5μm
BGD 201/3: 50μm	BGD 201/4: 75μm
BGD 201/5: 100μm	BGD 201/6: 125μm
BGD 201/7: 150μm	BGD 201/8: 200μm
BGD 201/9: 250μm	BGD 201/10: 300μm
BGD 201/11: 350μm	BGD 201/12: 400μm
BGD 201/14: 500μm	BGD 201/15: 600μm

\* Esto se rige por la norma llamada Prácticas estándar ASTM D823 para producir películas de espesor uniforme de pinturas, revestimientos y productos relacionados en paneles de prueba (ASTM, 2023).

3. Pintar otra lámina con pintura comercial.
4. Esperar el tiempo de secado debido.
5. Exponer al sol las muestras de pintura durante 1 hora. Asegurarse que todas las muestras tengan la misma exposición al sol.
6. Tomar la temperatura con termocupla Extech TM25. Realizar estas mediciones en cuadruplicado. Se debe tomar la temperatura de la pintura, la temperatura de la lámina por la parte de arriba y la temperatura de la lámina por la parte de abajo.
7. Para realizar las mediciones de temperatura se toman puntos definidos en las placa por cada medición a realizar para que los datos sean comparables. Esto se llama un mapeo térmico, dentro del cual se toman 4 puntos para hacer un promedio y así replicarlo en cada placa.
8. Luego de tomar las mediciones, anotar datos.

## Comparación de temperaturas

1. Seleccionar la pintura que obtuvo mejores resultados (temperatura menor) en la corrida anterior.
2. Pintar una lámina completamente con esta pintura y otra lámina con pintura comercial.
3. Exponer las láminas al sol desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm.
4. Tomar temperatura de la pintura, lámina por arriba y lámina por debajo de cada muestra, durante cada hora.

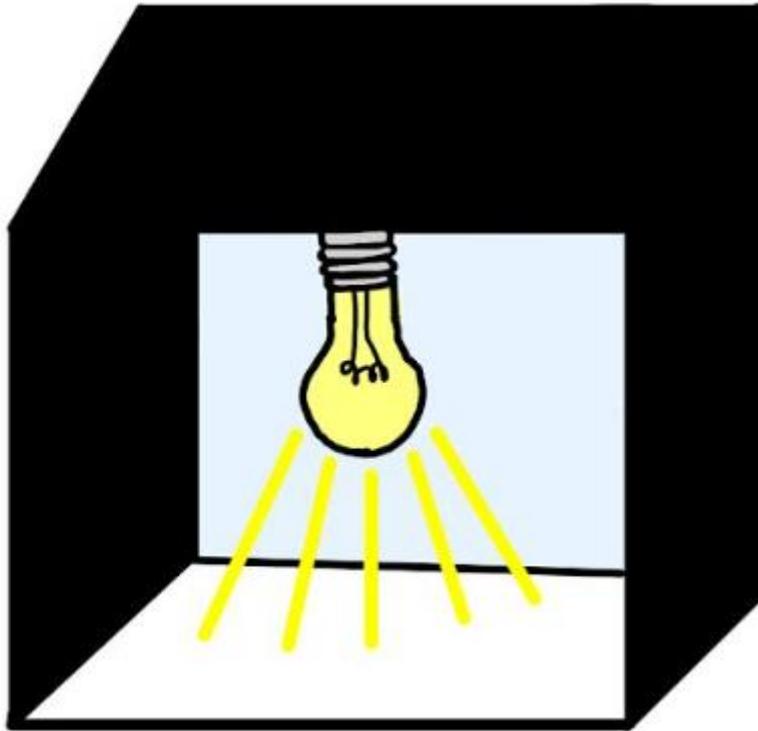
5. Tomar muestras en cuadruplicado.
6. Anotar datos.
7. Realizar comparación de temperaturas en una gráfica.

### **Medición de temperaturas para cálculo de emisividad**

Para la medición de emisividad se desarrolló un sistema, el cual se realizó de la siguiente manera:

1. Realizar una caja con medidas de 37x37x52 cm. \*La deducción de las medidas se muestra en los cálculos de muestra, en el cálculo No. 1. Debe tener solo 5 caras, la cara de abajo se queda libre.
2. Pintar la caja de negro.
3. Cortar una lámina de 36x36 cm.
4. Pintar la lámina con la pintura desarrollada
5. Instalar una plafonera y bombilla de 150 watts en la parte superior de la caja por dentro, debe estar centrada.
6. Colocar la cara de la caja libre encima de la lámina a modo que quede totalmente cubierta.
7. Conectar la bombilla a la corriente y tomar medición de temperatura inicial de la caja (cuerpo negro) y de la lámina.
8. Tomar temperatura cada 5 minutos.
9. Al levantar la caja para tomar las mediciones, procurar que sea lo más rápido posible para no perder calor.
10. Realizar este procedimiento hasta que las temperaturas estén estables.
11. Anotar los datos.
12. Al estabilizar las temperaturas, desconectar de la corriente y ventilar para que lleguen a temperatura ambiente.
13. Realizar el mismo procedimiento de toma de temperaturas con una lámina pintada con pintura comercial.

Figura No. 17 Esquema de medición de temperaturas para cálculo de emisividad



En esa figura se muestra el cajón utilizado para la medición de emisividad de la pintura desarrollada y comercial. Se midió con termómetro digital marca Digi-Sense modelo 20250-05. Estas mediciones se realizaron cada 5 minutos durante los primeros 65 minutos y luego cada 30 minutos hasta llegar a 150 minutos, para estabilizar la temperatura. Las mediciones se muestran en el Cuadro No. 55 para la pintura desarrollada y en el Cuadro No. 56 para la pintura comercial. Estos datos se encuentran en la sección de Anexos en Datos Obtenidos. Las tomas de temperatura se realizaron: la T1 corresponde a la temperatura tomada de la pintura y la T2 corresponde a la temperatura tomada en el cajón por la parte de adentro. Todo el cajón por dentro está pintado de negro, por fines prácticos y visuales se dejó el fondo de esta figura en color gris. La pintura blanca estaba pintada sobre una lámina negra tanto para la pintura desarrollada como para la pintura comercial.

## VII. RESULTADOS

Cuadro No. 2 Resultado de porcentajes de sulfato de bario en cada muestra de pintura desarrollada

Muestra desarrollada	Porcentaje de sulfato de bario en la pintura
1	control
2	9.4% g/g
3	13.4% g/g
4	17% g/g
5	20.4% g/g
6	23.6% g/g
7	25% g/g

\*Porcentajes medidos a 23°C y 30.16 mmHg.

Cuadro No. 3 Muestra de formulación de pintura para el desarrollo de la misma

Componentes de la pintura	%
Agua	50% g/g
Carbonato de calcio	1% g/g
Espesante	0.5% g/g
Resina	35% g/g
Aditivos	3% g/g
Sulfato de Bario	10.5% g/g

\*Porcentajes medidos a 23°C y 30.16 mmHg. El porcentaje de sulfato de bario agregado a la pintura varía dependiendo de la muestra que se quiera realizar.

## Caracterización de la pintura desarrollada

Cuadro No. 4 Resultados de análisis organolépticos de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario

Parámetro	Olor	Color	Textura	Tacto
Muestra 1	Aceptable	No Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 2	Aceptable	No Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 3	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 4	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 5	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 6	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Muestra 7	Aceptable	Aceptable	No Aceptable	No Aceptable

\*Datos obtenidos de los cuadros 17 al 20 en Anexos de la parte de Datos Obtenidos.

Cuadro No. 5 Resultados de análisis de viscosidad en centipoises de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario

Viscosidad	Promedio	Desviación estándar	Rango	Nivel de confianza (95%)
Muestra 1	2885	12.91	[2840, 2870]	20.54
Muestra 2	3278	9.57	[3270, 3290]	15.23
Muestra 3	3458	12.58	[3440, 3470]	20.02
Muestra 4	3475	20.82	[3450, 3500]	33.12
Muestra 5	3520	14.14	[3500, 3530]	22.50
Muestra 6	3573	17.08	[3550, 3590]	27.18
Muestra 7	3758	22.17	[3730, 3780]	35.28

\*Datos obtenidos del Cuadro No. 21 Análisis de viscosidad,  $\pm 0.5$  Centipoises, de la pintura desarrollada a 23°C en Anexos - Datos Obtenidos. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 6 Resultados de análisis de tiempo de secado en minutos de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario

<b>Tiempo de secado</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	32.50	2.89	[30, 35]	4.59
Muestra 2	22.50	2.89	[20, 25]	4.59
Muestra 3	21.25	4.79	[15, 25]	7.62
Muestra 4	16.25	2.50	[15, 20]	3.98
Muestra 5	12.50	2.89	[10, 15]	4.59
Muestra 6	12.50	2.89	[10, 15]	4.59
Muestra 7	15.00	4.08	[10, 20]	6.50

\*Datos obtenidos del Cuadro No. 22 Análisis de tiempo de secado en minutos de la pintura desarrollada con grosor de cubrimiento de 0.3 milímetros en Anexos - Datos Obtenidos. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

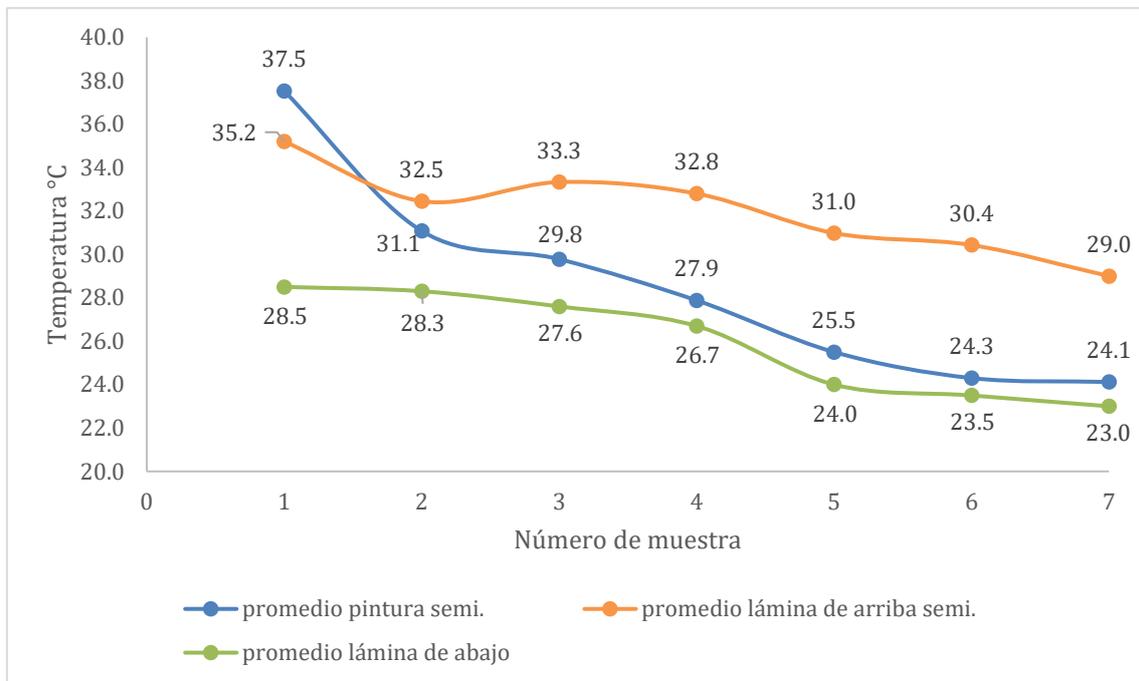
Cuadro No. 7 Resultados de análisis de brillo en unidades GU de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario

<b>Brillo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	26.73	0.05	[26.7, 26.8]	0.08
Muestra 2	20.43	0.01	[20.3, 20.5]	0.15
Muestra 3	14.85	0.10	[14.7, 14.9]	0.16
Muestra 4	12.65	0.19	[12.4, 12.8]	0.30
Muestra 5	7.35	0.19	[7.2, 7.6]	0.30
Muestra 6	5.13	0.13	[5.0, 5.3]	0.20
Muestra 7	4.15	0.13	[4.0, 4.3]	0.21

\*Datos obtenidos del Cuadro No. 23 Análisis de brillo en unidades GU de la pintura desarrollada con ángulo de 60° en Anexos - Datos Obtenidos. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

## Resultado de medición de temperaturas a diferentes concentraciones en cielo semi despejado

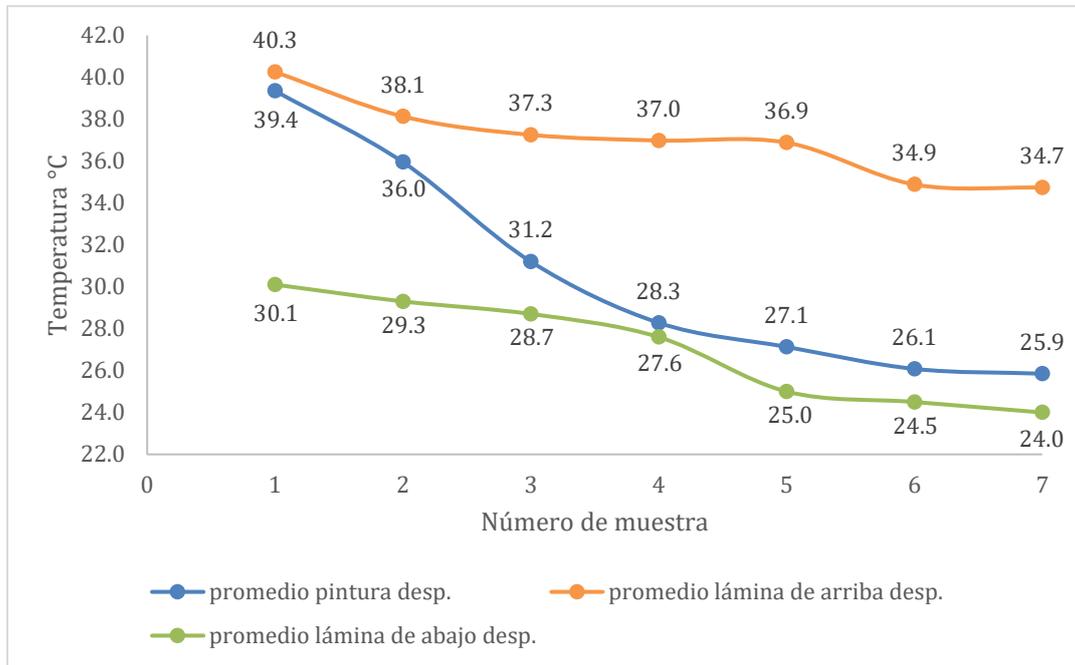
Figura No.18 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo semi despejado.



\*Esta figura se realizó con los datos promedio de la pintura por cada muestra desarrollada de la 1 a la 7, de la lámina expuesta al sol y de la lámina por debajo. Las líneas no son un modelo, sino una tendencia para evidenciar los datos obtenidos. Los datos fueron obtenidos de los cuadros no. 47 al 49 en la sección de Anexos - Datos calculados. Para realizar la gráfica de dispersión con líneas suavizadas y marcadores se utilizó la herramienta de gráficos de Excel.

## Resultado de medición de temperaturas a diferentes concentraciones en cielo despejado

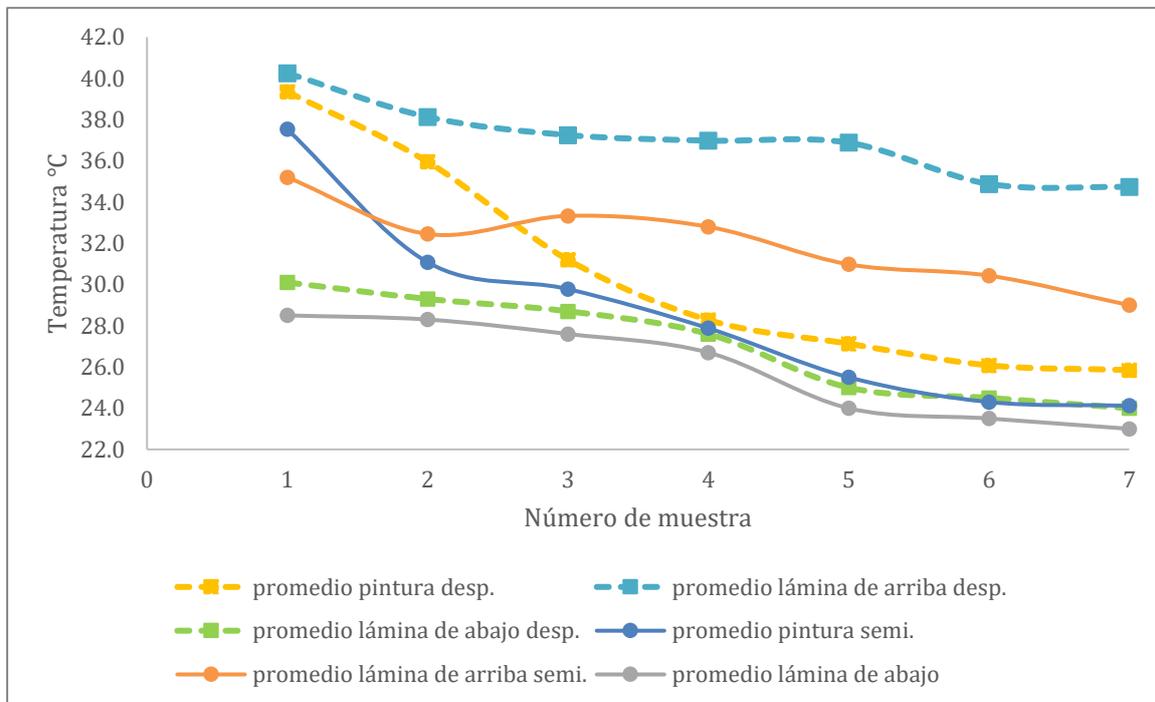
Figura No. 19 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo despejado.



\*Esta figura se realizó con los datos promedio de la pintura por cada muestra desarrollada de la 1 a la 7, de la lámina expuesta al sol y de la lámina por debajo. Estos datos fueron obtenidos en un cielo despejado. Las líneas no son un modelo, sino una tendencia para evidenciar los datos obtenidos. Los datos provienen de los cuadros no. 50 al 52 en la sección de Anexos - Datos calculados. Para realizar la gráfica de dispersión con líneas suavizadas y marcadores se utilizó la herramienta de gráficos de Excel.

## Comparación de resultado de medición de temperaturas a diferentes concentraciones en cielo despejado y cielo semi despejado

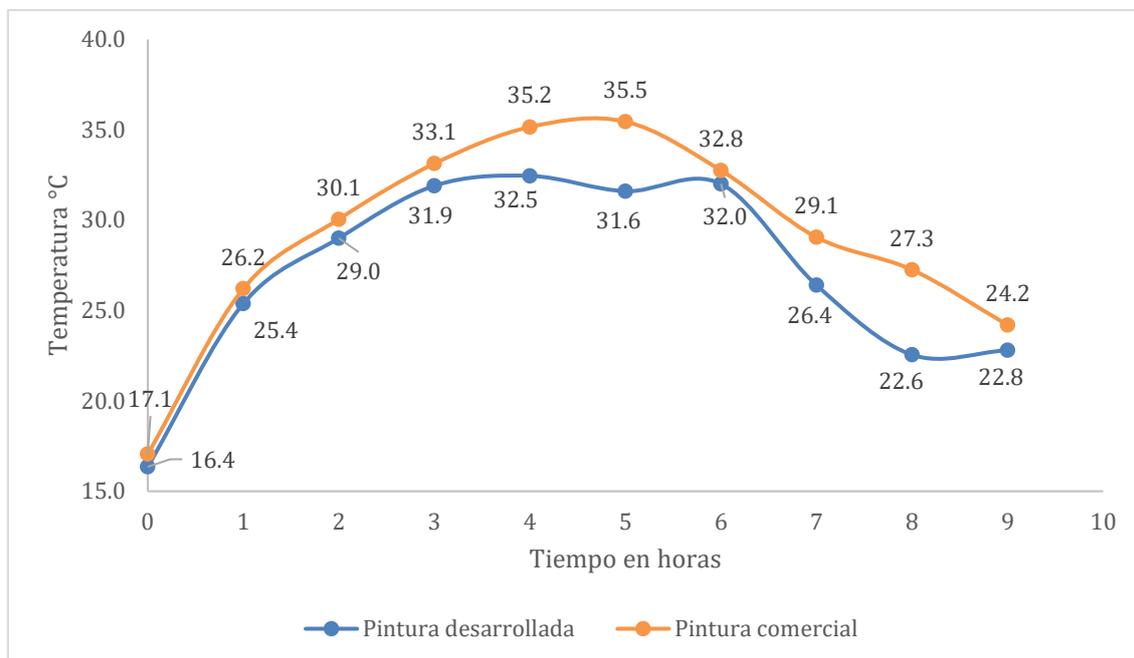
Figura No. 20 Comparación de temperaturas en °C de pintura, lámina por arriba y lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo semi despejado y despejado.



\*Esta figura muestra la comparación de datos promedio de la pintura por cada muestra desarrollada de la 1 a la 7, de la lámina expuesta al sol y de la lámina por debajo. Estos datos comparan los promedios de cielo semi despejado y cielo despejado. Las líneas punteadas muestran el cielo despejado y las líneas continuas muestran el cielo semi despejado. Éstas no muestran un modelo, sino una tendencia para evidenciar los datos obtenidos. Los datos provienen de los cuadros no. 47 al 52 en la sección de Anexos - Datos calculados. Para realizar la gráfica de dispersión con líneas suavizadas y marcadores se utilizó la herramienta de gráficos de Excel.

## Comparación de temperaturas con pintura a base de sulfato de bario y comercial

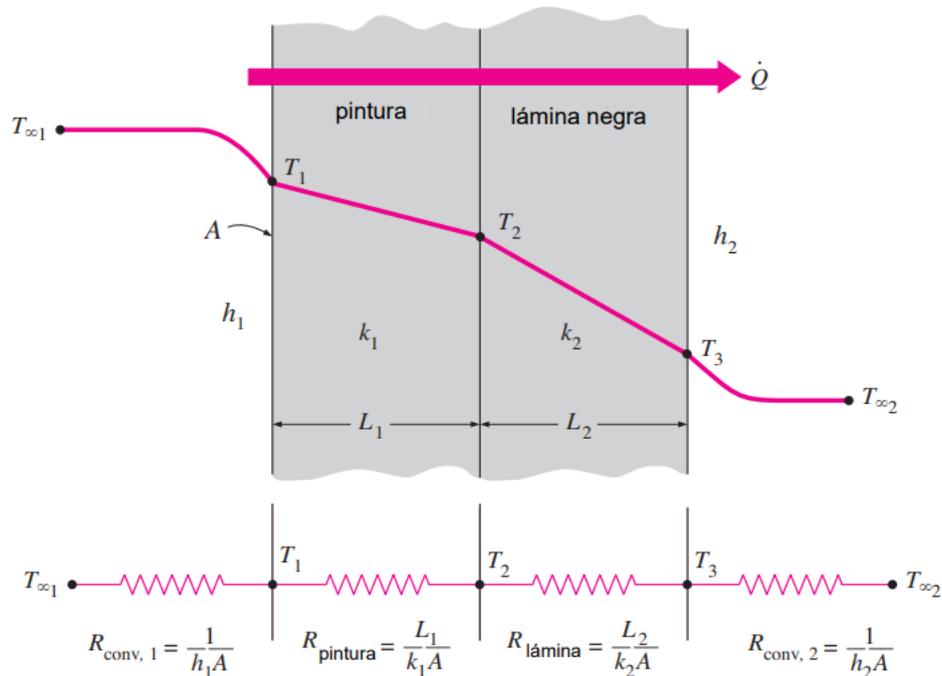
Figura No. 21 Comparación de temperaturas de la superficie pintada de blanco de la muestra 6 de la pintura desarrollada versus pintura comercial con exposición solar durante todo el día.



\*Esta figura muestra la comparación de datos promedio de la pintura desarrollada y pintura comercial, de la lámina expuesta al sol durante todo el día. Estos datos comparan los promedios de las temperaturas para observar cómo se da el calentamiento y enfriamiento de las mismas. Los datos provienen del Cuadro No. 53 para los valores de la pintura desarrollada y del Cuadro No. 54 para la pintura comercial. Ambos se encuentran en la sección de resultados en Anexos. Para realizar la gráfica de dispersión con líneas suavizadas y marcadores se utilizó la herramienta de gráficos de Excel.

## Resultados de transferencia de calor por conducción

Figura No. 22 Perfil de temperaturas para el análisis de transferencia de calor por conducción en la lámina de hierro negro pintada con pintura desarrollada y comercial



## Resultado de conducción de pintura desarrollada y pintura comercial

Cuadro No. 8 Conductividad térmica de pintura desarrollada y pintura comercial medida en  $W/m^*K$

Parámetro	Pintura desarrollada	Pintura comercial
Conducción térmica	$0.418 \pm 0.67130$	$0.442 \pm 0.7812$

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 57, de los datos calculados de conducción de calor. Aquí se reporta el promedio obtenido de la conducción de calor para la pintura desarrollada y la pintura comercial. Para realizar el cálculo se utilizó la herramienta de Excel.

## Resultado de resistencia térmica de pintura desarrollada y pintura comercial

Cuadro No. 9 Resistencia térmica de pintura desarrollada y pintura comercial medida en  $K*m^2/W$

Parámetro	Pintura desarrollada	Pintura comercial
Resistencia térmica	$0.007 \pm 0.01$	$0.006 \pm 0.02$

\*Estos resultados se obtuvieron del cálculo No. 3 con la ecuación de resistencia térmica.

## Resultado de emisividad de pintura desarrollada y pintura comercial

Cuadro No. 10 Emisividad de la pintura desarrollada y pintura comercial

Parámetro	Pintura desarrollada	Pintura comercial
Emisividad	0.84 ± 0.016	0.89 ± 0.017

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros No. 45 y 46. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%. Se utilizó un termómetro digital Digi-Sense 20250-05.

### Análisis ANOVA de pintura

Hipótesis: Hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de las muestras de la pintura, lámina por arriba y lámina por abajo

Hipótesis Nula: No hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de las muestras de la pintura, lámina por arriba y lámina por abajo

Cuadro No. 11 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 en cielo semi despejado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	114.30	9	57.15	64.50	4.62E-6	4.26
Dentro de los grupos	7.98	2	0.89			
Total	122.28	11				

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 30. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta análisis de varianza de un factor de Excel con un alfa de 0.05.

Cuadro No. 12 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra comercial en cielo semi despejado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	127.19	9	63.59	85.87	1.37E-6	4.26
Dentro de los grupos	6.67	2	0.74			
Total	133.85	11				

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 32. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta análisis de varianza de un factor de Excel con un alfa de 0.05.

Cuadro No. 13 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 en cielo despejado

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	250.88	9	125.44	140.03	1.66E-7	4.26
Dentro de los grupos	8.06	2	0.90			
Total	258.94	11				

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 39. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta análisis de varianza de un factor de Excel con un alfa de 0.05.

Cuadro No. 14 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra comercial en cielo semi despejado

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	203.75	9	101.88	237.69	1.64E-8	4.26
Dentro de los grupos	3.88	2	0.43			
Total	207.61	11				

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 41. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta análisis de varianza de un factor de Excel con un alfa de 0.05.

## **Análisis ANOVA entre pinturas**

Hipótesis: Hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de la muestra de pintura desarrollada seleccionada y pintura comercial

Hipótesis Nula: No hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de la muestra de pintura desarrollada seleccionada y pintura comercial

Cuadro No. 15 Análisis ANOVA del promedio de temperaturas para la muestra 6 y pintura comercial

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	14.05	1	14.05	81.82	1.02E-4	5.99
Dentro de los grupos	1.03	6	0.17			
Total	15.08	7				

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros No. 43 y 44. Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta análisis de varianza de un factor de Excel con un alfa de 0.05.

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal del trabajo era desarrollar y evaluar una pintura blanca a base de sulfato de bario como aislante para determinar si era aplicable a aislamiento térmico en hogares. Para esto se llevó a cabo el desarrollo de 7 muestras, como se muestra en el Cuadro no. 2 de resultados, en las cuales se hicieron análisis fisicoquímicos para determinar su aceptación. En el Cuadro no. 3, se muestran los porcentajes de los componentes de la pintura para la formulación de la misma. Para esta, se utilizó la resina acrílica la cual se caracteriza por tener una buena opacidad, contribuyendo a la emisividad de la pintura. La resina también afecta la porosidad de la pintura y esto afecta la adherencia, resistencia y permeabilidad. Al ser una resina acrílica, cuenta con las características necesarias para ser una pintura de exterior. Como la resina es un factor importante en la pintura, se podría considerar la formulación de pinturas a base de otras resinas para compararlas con la formulación mostrada en el Cuadro no. 3. Así mismo, al añadir distintas cantidades de sulfato de bario, la proporción entre los demás compuestos permanece igual. La formulación de la pintura desarrollada, comparada a una comercial difiere principalmente en los aditivos y en la cantidad agregada de sulfato de bario. Si bien una pintura comercial utiliza sulfato de bario, éste lo hace en una proporción menor del 1% para dar mejor opacidad y adherencia.

En el Cuadro no. 4 se puede observar los resultados de los análisis organolépticos, en los cuales se muestra que tanto olor, color, textura y tacto. De los análisis realizados, se determinó que la muestra 1 y 2 no cumple con la característica de color, ya que es blanco, pero no tiene el poder cubriente de una pintura comercial. Para la muestra 7, se determinó que no cumplía con la característica de tacto y textura. Esto se debe a que la muestra tenía más pigmento que las otras muestras y por ende la pintura empezó a tener rajaduras. También para la prueba de tacto, al pasar la mano por encima, se quedaba la tiza de la pintura. Es por esto que en cuanto a aceptación organoléptica no cumplió con los estándares comerciales.

Posteriormente se realizó el análisis fisicoquímico de la pintura el cual comprende de análisis de viscosidad, tiempo de secado y brillo. Los resultados se muestran del Cuadro no. 5 al Cuadro no. 7. En cuanto a la viscosidad, se puede decir que cuanto más porcentaje de sulfato de bario hay en la pintura, más viscosa se vuelve. Al añadir más pigmento a la pintura, aumenta la cantidad de partículas sólidas en la mezcla, lo que a su vez la hace más espesa. Además, algunos pigmentos pueden tener una estructura rugosa o irregular que contribuye a la viscosidad de la pintura al aumentar la fricción entre las partículas y el medio líquido. En cuanto a la adición de sulfato de bario a la pintura en comparación de la comercial, el sulfato tiene una densidad mayor que la mayoría de los pigmentos y cargas utilizadas en una comercial, lo que significa que la adición de éste aumenta la densidad de la pintura. Además de esto, el sulfato de bario puede aumentar la viscosidad de la pintura debido a su tamaño y forma de partícula. Las partículas de sulfato de bario son relativamente grandes y tienen una forma irregular, lo que hace que se aglutinen entre sí en la mezcla de la pintura. Esto puede aumentar la fricción entre las partículas y aumentar la viscosidad de la pintura. Así mismo, el sulfato de bario puede interactuar químicamente con otros componentes de la pintura, como los ligantes, los aditivos

y los solventes, lo que puede alterar la estructura y la reología de la mezcla. En algunos casos, esto puede resultar en un aumento de la viscosidad de la pintura.

En cuanto a tiempo de secado, se puede observar en el Cuadro no. 6 que el tiempo de secado empieza con la muestra 1 en el mayor tiempo y conforme va aumentando la concentración de sulfato de bario, va disminuyendo el tiempo de secado. Esto se da hasta llegar a la muestra 7, en donde el tiempo de secado vuelve a aumentar. Las primeras muestras, están compuestas por mayor porcentaje de solvente, ya que el pigmento se encuentra en pocas cantidades. Debido a esto, la pintura con más solvente toma más tiempo en secarse que una pintura con menos solvente, ya que hay más cantidad de solvente por evaporar antes de que la pintura se seque. En la última muestra, el porcentaje de pigmento puede afectar el tiempo de secado porque los pigmentos tienden a aumentar la viscosidad de la pintura. La viscosidad es la medida de la resistencia de un fluido a fluir. Cuanto más viscosa sea una pintura, más lentamente fluye, y esto puede afectar la tasa de evaporación de los solventes en la pintura. Si hay más pigmento en la pintura, la tasa de evaporación es más lenta, lo que significa que el tiempo de secado será mayor. La tasa de evaporación de los solventes también se ve afectada por factores ambientales como la humedad, la temperatura y la ventilación, lo cual puede influir en el tiempo de secado.

Para el análisis de brillo, se muestran los resultados en el Cuadro no. 7. Se puede observar que de la muestra 1 a la 7 va disminuyendo el valor del brillo que está dado en GU (gloss unit) y está medido con un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ , el cual se utiliza como ángulo de referencia para un brillo medio (Rhopoint Instrument, 2017). El ángulo de incidencia afecta la cantidad de luz que se refleja en una superficie y, por lo tanto, su brillo. La escala de brillo se extiende desde 0 GU para una superficie mate hasta 100 GU para una superficie muy brillante. Una mayor GU significa una mayor cantidad de luz reflejada por la superficie, lo que se traduce en un brillo más alto. Esto se puede observar con las muestras, siendo la muestra 1 la que tiene mayor GU y no tiene porcentaje de sulfato de bario agregado. Conforme se agrega sulfato de bario, la pintura se va haciendo más opaca y refleja un GU menor. Se miden en términos de porcentaje de reflectividad de luz. Una unidad de GU de 26.73 para la muestra 1 significa que el 26.73% de la luz incidente se refleja sobre la superficie de la pintura. Esto es una pintura semi brillante o satinada según la escala de medición. Lo mismo aplica para las muestras 2, la cual tiene un valor de 20.43. El rango de una pintura semi brillante es de 20 a 50 GU. Para las siguientes muestras, 3 y 4, se describen como pinturas semi mate ya que la medición de sus gloss units está entre 10 y 20. Las muestras 5, 6 y 7 son pinturas mate ya que se encuentran por debajo de 10 GU (Schweigge, 2015).

Posteriormente, se deseaba experimentar la capacidad de aislamiento a la radiación de la pintura desarrollada a base de sulfato de bario. De los cuadros No. 47 al 52 se muestran temperaturas para las distintas muestras desarrolladas, de los cuadros No. 43 al 45 fue la primera experimentación con cielo semi despejado y de los cuadros No. 50 al 52 fue la segunda experimentación con el cielo despejado. Esto con el fin de analizar el efecto en la temperatura al tener radiación directa y radiación difusa. Al analizar la primera parte, de cielo semi despejado, se puede notar en la Figura no. 18 la comparación de temperaturas de la pintura, la

lámina por arriba y la lámina por abajo para cada muestra desarrollada con 1 hora de exposición al sol en cielo semi despejado. Al transcurrir 1 hora, se puede observar que la pintura con mayor porcentaje de pigmento tiene la menor temperatura. Esto se debe a que por ser color blanco refleja mejor la luz y, por lo tanto, también las radiaciones electromagnéticas, incluido el calor, que es un tipo de radiación térmica. Por lo tanto, un material blanco tiene una mayor capacidad de reflexión y, por lo tanto, menos capacidad de absorción de calor. El calor se dispersa mejor en un material blanco que en uno de color oscuro, que tiene una mayor capacidad de absorción de calor. Es por esto que se observa cómo va disminuyendo la temperatura conforme aumenta el porcentaje de sulfato de bario. Se puede observar también que la temperatura de la lámina por arriba permanece casi constante ya que la exposición al sol es la misma para todas y es el mismo material. Por otra parte, se puede observar que la temperatura de la lámina por la parte de abajo va disminuyendo. Esto se debe a la conducción de calor que se da en la lámina. Al absorber menor radiación solar en la pintura, se calienta menos y por ende el diferencial de temperaturas es menor entre la parte de arriba y la de abajo.

Por otro lado, las mediciones de cielo despejado en el Cuadro no. 50, muestran que la pintura tuvo mayor temperatura que en cielo semi despejado. Esto se debe a que el cielo despejado permite que la radiación solar entre directamente a la Tierra, aumentando la temperatura en comparación con un día nublado o cubierto, en el que la radiación es dispersada y disminuye la cantidad de calor recibido en la superficie terrestre. Como se puede observar en la Figura no. 19, no se percibe mayor variación entre las temperaturas del cielo despejado y cielo semi despejado. Esto puede ser debido a que la exposición al sol no fue prolongada. Se pudo haber expuesto mayor tiempo al sol para observar si las temperaturas variaban más entre una radiación directa y una radiación difusa. Además de esto, se hicieron mediciones de intensidad lumínica en unidades llamadas lux (lúmenes por metro cuadrado), las cuales están relacionadas a la radiación solar ya que la radiación solar es una mezcla de diferentes longitudes de onda de luz, incluyendo la luz visible que se puede ver, así como la luz infrarroja y ultravioleta que no se puede ver. La cantidad de luz solar que llega a la Tierra depende de factores como la hora del día, la época del año, la ubicación geográfica y la cantidad de nubes en el cielo. En general, la intensidad lumínica en un área dada aumenta cuando la radiación solar es más fuerte. En condiciones de luz solar directa, la intensidad lumínica es máxima, mientras que, en condiciones de luz solar indirecta o sombra, la intensidad lumínica puede disminuir significativamente. Cuanto mayor sea la intensidad lumínica, mayor será la cantidad de energía térmica absorbida, lo que resultará en un aumento de la temperatura superficial.

Seguidamente, se realizó una comparación de temperaturas de la pintura desarrollada y la pintura comercial. En esta ocasión se comparó solamente la pintura con mejores resultados para que fuera comparativo. Se tomó como muestra la muestra número 6, ya que, si bien hubo otra con mejores resultados térmicos, ésta fue la que cumplió con las características fisicoquímicas de una pintura comercial. Como se muestra en los cuadros no. 43 y 44, se observan las temperaturas durante 9 horas de exposición solar en cielo despejado y semi despejado. Se comenzaron las mediciones a las 8:30 am y se finalizaron a las 5:30 pm. Se compararon éstas con el fin de lograr una curva de temperatura y observar el comportamiento de cada una de ellas. Se puede observar que, durante la primera hora, las temperaturas se

asemejan, pero al pasar las horas de exposición solar, se puede notar que el rango de temperatura entre cada una de las pinturas se va haciendo mayor, por lo que se puede decir que la superficie de la pintura desarrollada permanece más fría. Esto se debe a que la superficie de la pintura desarrollada refleja mejor la radiación solar que la superficie de la pintura comercial, lo que significa que menos calor es absorbido y retenido por la superficie. Además, la capacidad de esta superficie blanca para emitir calor hacia el espacio es mayor que la de la otra superficie, lo que también contribuye a su menor temperatura. Como se observa en el Cuadro no. 51, se tienen los resultados de la intensidad lumínica medida en lux durante todas las mediciones de temperatura que se realizaron durante el día. Como se puede ver, de las 9 de la mañana que fue la primera medición a la 1 de la tarde que fue la quinta medición, la intensidad lumínica va en crecimiento. Luego de las 2 de la tarde, la intensidad lumínica va decreciendo. Esto se puede relacionar con la luz solar que incide sobre la pintura durante todo el día y cómo esto afecta la temperatura superficial de la misma. Se puede observar que cuando hay mayor intensidad lumínica, la temperatura entre la superficie de la pintura comercial y desarrollada presenta mayor diferencia. A pesar de la cantidad de luz solar que incide sobre la superficie, la reflejaría la mayoría de esa radiación de vuelta al ambiente sin absorberla. Al reflejar la luz, también evita la conversión de energía lumínica en energía térmica y por ende, presenta una menor temperatura superficial. Se puede notar que la diferencia mayor entre cada muestra de temperatura superficial es de  $3.9^{\circ}\text{C}$ . Esto quiere decir que la pintura desarrollada seleccionada es aislante en comparación a la pintura comercial.

Se obtuvieron resultados de transferencia de calor por conducción, los cuales se muestran en el Cuadro no. 56. Se muestran los resultados para la lámina pintada con la pintura desarrollada y para la lámina pintada con la pintura comercial. Se puede observar que durante las primeras 6 horas, la transferencia de calor va en el mismo sentido para ambas láminas. Luego, en la siguiente hora, se puede observar que la transferencia de calor es negativa para la pintura desarrollada. Esto quiere decir que la transferencia de calor cambió de sentido, se estaba dando de la parte de abajo de la lámina para la parte de arriba de la lámina. Esto se debe a que cuando hubo menos sol, la lámina quedó con mayor temperatura y la superficie pintada expuesta al aire, empezó a bajar de temperatura, por lo cual, la temperatura mayor estaba en la lámina inferior. Este efecto se hace notar en la lámina con pintura comercial hasta la última hora, en donde la transferencia de calor fue negativa. Esto quiere decir que la velocidad de enfriamiento superficial de la pintura desarrollada fue mayor que la de la pintura comercial y esto se puede relacionar con la emisividad que se discute a continuación. Por último, se puede evidenciar que hay mayor transferencia de calor en la pintura comercial llegando hasta un valor de  $28975.37 \text{ W/m}^2$ , comparado con el valor máximo de la pintura desarrollada el cual fue de  $4484.28 \text{ W/m}^2$ . La energía de radiación incidente es la energía radiante que llega a una superficie o objeto desde la fuente que es el sol. Cuando la energía de radiación incidente interactúa con una superficie u objeto, puede ser absorbida, reflejada o transmitida. Si la energía de radiación incidente es absorbida, el objeto o superficie puede experimentar un aumento de temperatura debido a la conversión de energía radiante en energía térmica. Si la energía de radiación incidente es reflejada, la superficie o el objeto es más brillante o reflectante. Si la energía de radiación incidente es transmitida, la energía radiante puede pasar a través de la superficie u objeto sin ser absorbida. Esto quiere decir que, según los valores obtenidos, la

pintura comercial absorbe mayor cantidad de radiación solar y la pintura desarrollada refleja mayor radiación solar.

A partir de esto, se determinó la conductividad térmica de la pintura desarrollada y pintura comercial para determinar la capacidad del material para transferir calor. Como se muestra en el Cuadro no. 8 en la sección de resultados, se obtuvo un valor de conductividad térmica para la pintura desarrollada de  $0.418 \pm 0.6713$ . Comparando este valor con la conductividad térmica de la pintura comercial, que fue de  $0.442 \pm 0.7812$ , se puede decir que la pintura desarrollada presenta una menor conductividad térmica por lo que es más aislante a la conducción. Esto significa que el calor transferido de la superficie hacia la lámina es menor en la pintura desarrollada y, por ende, el otro lado de la lámina se calienta menos que la pintura comercial. En el Cuadro No. 9, se muestran los resultados de la resistencia térmica de la pintura desarrollada y comercial. Para la primera se obtuvo un valor de  $0.007 \pm 0.01 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  y para la comercial  $0.006 \pm 0.02 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Esto muestra que la pintura desarrollada tiene una mayor resistencia, lo cual indica una menor transferencia de calor y por ende, una superficie con menor temperatura.

Adicionalmente a esto, se realizó una experimentación para determinar la emisividad de la pintura. Esto para determinar la capacidad para emitir energía térmica en forma de radiación electromagnética y tener un punto de comparación entre la pintura desarrollada y una pintura comercial de la misma base. Como se muestra en el Cuadro no. 10, la pintura comercial tiene una emisividad de  $0.89 \pm 0.1$  y la pintura desarrollada de  $0.84 \pm 0.1$ . Esto indica la capacidad de un material para emitir radiación térmica en relación con un material negro ideal, que tiene una emisividad de 1.0. Un material con una emisividad de 0.84 emite un 84% de la radiación térmica que emitiría un material negro ideal a la misma temperatura. Un material con una emisividad de 0.89 emite más radiación térmica que un material con una emisividad de 0.84 a la misma temperatura. Esto significa que el material con una emisividad más alta tiene una pérdida de calor más elevada y, por lo tanto, su superficie estará más caliente. Como se muestra en la Figura No. 6, emisividad de algunos materiales a temperatura ambiente, la emisividad de la pintura blanca se reporta que es de 0.93 a temperatura ambiente. Debido a que el valor de emisividad para las pinturas blancas puede cambiar, por el uso de pigmentos, resinas, aditivos, etc. utilizados, se investigó sobre un rango de emisividad de la pintura blanca. Este rango se muestra en la Figura No. 7 que presenta la emisividad normal de algunos materiales, superficies y pinturas que se encuentran en el marco teórico. Éste reporta un rango entre 0.8-0.95 de emisividad a una temperatura entre 100-200°F. Comparando esto, se puede decir que según la teoría hay valores de emisividad de pintura blanca menores a los encontrados experimentalmente en este trabajo. Se puede concluir que los valores encontrados están dentro del rango según la teoría y que el valor encontrado de la pintura desarrollada se acerca más al rango inferior de emisividad. Por otro lado, la pintura comercial presenta un valor más cercano al límite superior de este rango, por lo que los valores hallados son lógicos y aceptados.

Se realizó un análisis de varianzas ANOVA de un factor, en el cual se plantearon las siguientes hipótesis: Hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de las muestras de la pintura, lámina por arriba y lámina por abajo. Y para la hipótesis nula se planteó

lo siguiente: No hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de las muestras de la pintura, lámina por arriba y lámina por abajo. Como se muestra en los cuadros del 11 al 14, se analizaron los promedios de pintura de la muestra 6 en cielo semi despejado y despejado y los promedios de las pinturas comerciales. Para todos los casos se obtuvo que se rechaza la hipótesis nula, por lo que se puede concluir que si hay una diferencia significativa entre los promedios de las temperaturas de la pintura, lámina por arriba y lámina por abajo. Se puede concluir esto ya que el valor crítico obtenido es el límite entre la región de aceptación y de rechazo, donde el valor F calculado está a la derecha del valor crítico. Es por esto que se debe rechazar la hipótesis nula.

Así mismo, se realizó un análisis de varianzas ANOVA de un factor entre la pintura desarrollada seleccionada, que fue la muestra número 6 y la pintura comercial, en la cual se planteó la siguiente hipótesis: Hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de la muestra de pintura desarrollada seleccionada y pintura comercial. Y la hipótesis nula: No hay diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de la muestra de pintura desarrollada seleccionada y pintura comercial. Los resultados de este análisis se pueden observar en el Cuadro no. 15. Se puede concluir de esta cuadro que, al ser el valor crítico de F menor que el valor de F, la hipótesis nula se rechaza. Es por esto que se determinó que si hay una diferencia significativa entre los promedios de temperaturas de la muestra de pintura desarrollada seleccionada y pintura comercial.

En cuanto a los resultados generales obtenidos de la pintura comercial y la pintura desarrollada a base de sulfato de bario, se puede decir que la pintura desarrollada presenta mejores características de aislamiento a la radiación y a la conducción. Esto se debe a que el sulfato de bario es un compuesto químico que tiene una alta reflectividad hacia la radiación solar, lo que significa que refleja una gran cantidad de la energía radiante que le incide. Esto se debe a su estructura cristalina y a sus propiedades físicas y químicas. En primer lugar, el sulfato de bario es un material opaco y blanco, lo que significa que no permite que la luz lo atraviese y que refleja la mayor parte de la luz incidente. Además, su superficie es muy suave y reflectante, lo que aumenta su capacidad para reflejar la luz solar. Además, el sulfato de bario tiene un índice de refracción alto, lo que significa que la velocidad de la luz es más lenta en el material que en el aire. Esto hace que la luz que entra en el sulfato de bario se refleje hacia atrás en lugar de pasar a través de él. Otra propiedad que contribuye a su alta reflectividad es su alto peso molecular y densidad, lo que hace que las partículas de sulfato de bario sean relativamente grandes en comparación con otras partículas de pinturas y recubrimientos. Esto permite que las partículas de sulfato de bario actúen como pequeños espejos que reflejan la luz en lugar de absorberla. Es gracias a esto que la pintura desarrollada con sulfato de bario mantiene temperaturas superficiales menores, así como también presenta valores de emisividad y conducción más bajos que la pintura comercial.

En resumen, se puede decir que la pintura desarrollada presenta características relevantes de aislamiento radiativo utilizando sulfato de bario como pigmento. Se puede decir esto por las mediciones realizadas de temperatura en cielo despejado y semi despejado y por las comparaciones realizadas con pintura comercial de la misma base. Se puede observar que

cuanto más sulfato de bario se agrega, mejores son los resultados térmicos. También se puede mencionar que la emisividad de la pintura desarrollada fue menor que la comercial, obteniendo un parámetro de medición certero de que la pintura refleja mayor cantidad de radiación solar que una comercial.

Las principales fuentes de error identificadas son error de medición, error humano y error aleatorio. El error de medición se produce cuando se toman medidas inexactas de los valores que se están midiendo debido a una variedad de factores, como problemas de calibración o la lectura incorrecta de instrumentos de medición como lo son los termómetros utilizados. En el error humano, pudo haber sido una mala manipulación de equipos o falta de precisión al tomar las medidas. Para el error aleatorio se tienen factores impredecibles y variables que pueden afectar los resultados de manera inesperada. Estos pueden ser como la fluctuación de temperatura o condiciones climáticas variables.

## IX. CONCLUSIONES

1. De las fórmulas desarrolladas la que contiene 25% de sulfato de bario salió negativa para las pruebas de textura y tacto. Para las muestras con 9.4% y 13.4% no cumplieron con la muestra de color. Para las demás muestras, sí cumplen con las características organolépticas para una pintura tradicional.
2. Se determinó la capacidad de aislamiento a la radiación, al comparar la pintura desarrollada con una pintura comercial de la misma base. Las pinturas desarrolladas con adición de sulfato de bario igual o mayor a 20.4% g/g presentan una temperatura superficial menor que la temperatura de una superficie pintada con pintura comercial a base de dióxido de titanio. Esto evidencia la mayor reflectividad del sulfato de bario. (P. Ej. temperatura superficial de la muestra 5 =  $25.50^{\circ}\text{C} \pm 0.10$ , temperatura superficial de muestra comercial =  $27.83^{\circ}\text{C} \pm 0.10$ ).
3. Se desarrolló un dispositivo para la medición de la emisividad de la pintura desarrollada, la cual fue determinada por medio de la ley de Stefan Boltzmann. El dispositivo se elaboró con los siguientes componentes: caja de madera pintada de negro, plafonera y bombilla y lámina pintada con pintura desarrollada y pintura comercial. Se obtuvo un valor de  $0.84 \pm 0.016$  para la pintura desarrollada y para la pintura comercial se obtuvo un valor de  $0.89 \pm 0.017$  con el mismo dispositivo desarrollado. Esto representa que el material con una emisividad más alta tiene una pérdida de calor por este mecanismo en la pintura desarrollada.
4. Se determinó la conductividad térmica de la pintura desarrollada la cual fue de  $0.418 \pm 0.6713 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$  y para la pintura comercial se obtuvo un valor de  $0.442 \pm 0.7812 \text{ Wm}^{\circ}\text{K}$ . Con estos valores se puede decir que la pintura desarrollada presenta una menor conductividad térmica por lo que es más aislante a la conducción.

## **X. RECOMENDACIONES**

1. Estudiar la efectividad del acondicionamiento de cubiertas pintadas con pinturas selectivas que evitaren un calentamiento no deseado del cuerpo o superficie de que se trate, buscando la optimización del uso de los dispositivos habituales de enfriamiento o refrescamiento desde el punto de vista energético.
2. Se recomienda realizar el análisis de temperaturas de la pintura desarrollada a base de sulfato de bario y compararla con una pintura termoaislante que contenga cerámica para evaluar la efectividad de enfriamiento radiativo.
3. Se recomienda la evaluación de diferentes resinas y aditivos en la formulación de la pintura para evaluar propuestas distintas que puedan contribuir al aislamiento radiativo.
4. Se recomienda realizar pruebas en distintos materiales como lo es la madera para evaluar el cubrimiento y efectividad en distintas superficies.
5. Realizar un modelo de transferencia de calor total en una vivienda para determinar el potencial de enfriamiento de la pintura aislante a la radiación y de esta manera poder realizar un análisis económico de la rentabilidad de la pintura, observando el ahorro en climatización y el rendimiento en energía.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, M. C. 2021. *Aplicación de ventilación cruzada en el diseño arquitectónico de las zonas públicas del aeropuerto internacional de Trujillo*. México. Universidad del Norte.
2. Alchapar, N., Correa, E., Lesino, G. 2012. *Estrategias de Enfriamiento Pasivo Urbano. Índice de reflectancia solar y relación costo-beneficio en pinturas para fachadas*. ISSN 0329-5184
3. Alpuche, M., Moreno, H., Ochoa, J., Marincic, I. 2010. *Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes*. Universidad de Sonora. III (3): 3.
4. ASTM. (2023). Standard Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Coatings and Related Products on Test Panels: <https://www.astm.org/d0823-18.html>
5. Bardales W., Castañón, C., y Herrera, J. 2019. *Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático*. Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
6. Bardales W., Rivera, P., y Ochoa, W. 2019. *Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
7. Calvo, J. 2014. *Pinturas y Barnices: Tecnología Básica*. Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 8499698794.
8. Castillo, E. 2022. *Guatemala mantiene alta vulnerabilidad al cambio climático*. Guatemala: Campus Central, Universidad del Valle de Guatemala.
9. Castro, T., Longoria, R., Mar, B., Ruiz-Suárez, L. 2001. *Surface albedo measurements in Mexico City metropolitan area*. VIX (14): 2. México.
10. Cengel, Y. 2011. *Transferencia de calor y masa*. IV (4). McGraw-Hill. ISBN: 978-607-15-0540-8
11. Cengel, Y. 2020. *Transferencia de calor y masa*. VI (6). McGraw-Hill. ISBN: 9781456277215.
12. Chamorro, M., Ortiz, E., Viana, L. 2015. *Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira- Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica*. XIII (13): 2, 54-63.
13. Consejo Nacional de Cambio Climático [CNCC]. 2016. *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala: Guatemala.
14. Eurolab, 2023. Estándar de prueba ASTM D1296 para el olor de solventes y diluyentes volátiles: <https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d1296-ucucu-cozuculerin-ve-seyrelticilerin-kokusu-icin-test-standardi/>
15. Flores, S., y Lesino, G. 2010. *Incorporación de módulos de enfriamiento evaporativo y de intercambiadores tierra-aire al programa SIMEDIF*. V (5). ISSN: 0329-5184.
16. García, L. 2018. *Islas de calor, un fenómeno de las ciudades*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
17. García, S. 2016. *Estudio de pinturas aislantes térmicas y su posible aplicación para el ahorro energético en un tipo de vivienda*. Santiago: Chile.
18. González, K. y Monteza, M. 2021. *Formulación de un recubrimiento termoaislante a base de aerogel de sílice aplicado en tuberías SS304*. Universidad Nacional Pedro Ruiz.

19. Hernández, A. 2012. *Cambio climático en Guatemala*. UNICEF.
20. Hernández, A. 2013. *Sistema de control para la producción más limpia en una fábrica de pinturas arquitectónicas e industriales*. Universidad San Carlos de Guatemala.
21. Herrera, L. 2014. *Eficiencia de estrategias de enfriamiento pasivo en clima cálido seco*. Revista de Arquitectura, XVI (16): 86-95. doi: 10.14718/ RevArq.2014.16.10
22. Intergovernmental Panel of Climate Change, [IPCC]. 2007. *Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*.
23. Joannon, S. 2016. *Estudio de pinturas aislantes térmicas y posible aplicación para el ahorro energético de un tipo de vivienda*. Santiago: Chile.
24. Kern, Q. 1999. *Procesos de Transferencia de Calor*. Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
25. Laboratorium Discounter. 2021. Sulfato de bario: <https://www.laboratoriumdiscounter.nl/es/quimicos/a-z/b/sulfato-de-bario/>
26. Li, X., Peoples, J., Yao, P., and Ruan, X. 2020. *Ultra-white Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling*. Doi: 10.1021/acsami.1c02368.
27. Muñoz, J., Paricaguán, B., Pérez, J., Sevilla, F. 2018. Reformulación de pintura látex clase A Semimate de uso interior, mediante la sustitución parcial del dióxido de titanio por exténderes. ISSN: 1316-6832.
28. Oda, T. 2014. *Evaluation of the Energy-Saving Performance of Heat-Resistant Paint*. (Evaluación del rendimiento de ahorro energético de pinturas resistentes al calor). Science Journal of Energy Engineering, II (2): 5-53. doi: 10.11648/j.sjee.20140205.11
29. Olivo, M., Soto-Olivo, A. 2010. *Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial*. ISSN 2542-3401
30. Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C., Bréon, F., Myneni, R. 2012. Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 696–703. Doi.org/10.1021/es2030438
31. Rincón-Martínez, J. C. 2022. *Confort térmico en edificios educativos naturalmente ventilados: un estudio en bioclima templado-seco*. Revista De Arquitectura (Bogotá), 25(1). <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3051>
32. Rhopoint Instrument. 2017. Novo Gloss Medidor de Brillo: <https://www.rhopointinstruments.com.mx/product/novo-gloss-medidor-de-brillo-206085/>
33. Royal Talens. 2023. Proceso de elaboración de pintura: <https://www.royaltalens.com/es/inspiracion/consejos-y-tecnicas/proceso-de-produccion-de-la-pintura/>
34. Schweigger, E. 2015. *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos*. Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 8479787074.
35. Torres, J. 2022. *Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas*. ISSN: 2518-6868
36. Universidad Católica de Colombia. 2014. *Revista de Arquitectura 16*. 1-144. ISSN: 1657-0308 E-ISSN 2357626X
37. Zelanski, P. y Fisher, M. 2001. *Color*. Madrid: Tursen SA/ M. Blume. ISBN 84-89840-21-0.

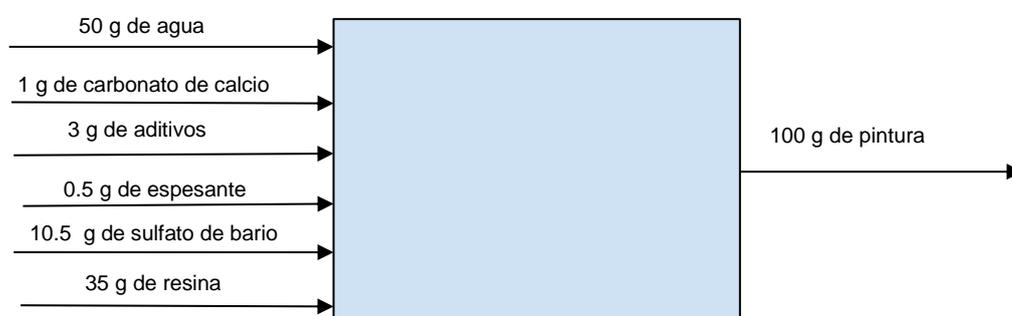
## XII. ANEXOS

### Balance de materia

#### 1. Elaboración de pintura

Figura No. 23 Balance de masa de la elaboración de pintura blanca a base de sulfato de bario

Base 100 g



### Balance de energía

- f. Balance de transferencia de calor por conducción realizado en lámina con pintura desarrollada

$$Q = -kA \frac{dt}{dx} \quad (3)$$

$$Q = -80 \frac{W}{mK} * 0.37m * 0.37m \frac{(31.8 - 32.4)^{\circ}C}{1/16 \text{ pulg}}$$

$$Q = 4139.34 \pm \frac{W}{m^2}$$

Los datos utilizados fueron los de los cuadros No. 43 y 44 en donde muestra las temperaturas de la pintura y la lámina inferior de la pintura desarrollada y comercial. Se realizó este cálculo para determinar la transferencia de calor en la lámina con la pintura desarrollada y

pintura comercial. La lámina utilizada es de hierro negro de 1/16 in. Se utilizó la ecuación No. 3 transferencia de calor por conducción.

g. Determinación de conductividad térmica de la pintura desarrollada

$$q = \frac{A(\Delta T_{Global})}{\Sigma R_{térmicas}} \quad (4)$$

$$q = -ka * A \frac{T_2 - T_1}{\Delta xa} = -kb * A \frac{T_3 - T_2}{\Delta xb}$$

$$q = -\frac{A(T_3 - T_1)}{\frac{\Delta xa}{ka} + \frac{\Delta xb}{kb}}$$

Despejando para kb:

$$kb = \frac{\Delta xb}{-\frac{A(T_3 - T_1)}{q} - \frac{\Delta xa}{ka}}$$

Sustituyendo valores:

$$kb = \frac{0.0003m}{-\frac{0.1369m^2 (16.4 - 16.2)^\circ C}{689.89W/m^2} - \frac{0.06m}{80W/mK}}$$

$$kb = 0.40 W/mK$$

Los datos utilizados fueron los del Cuadro No. 56 para ver los datos de transferencia de calor por conducción en la lámina con pintura desarrollada y pintura comercial. Se utilizó los cuadros No. 43 y 44 para el delta de temperatura para la pintura desarrollada y pintura comercial. Se realizó este cálculo para determinar la conductividad térmica de la pintura desarrollada y la pintura comercial para las diferentes horas del día. Luego de determinar la conductividad en cuadruplicado por cada hora de medición de temperatura, se sacó un promedio de las mismas para obtener un valor único de la conductividad térmica de la pintura desarrollada y comercial. Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación No. 4.

## Cálculos de muestra

### Cálculo 1: Determinación de medidas de caja negra y lámina

#### Contexto:

Constante solar en el borde de la atmósfera =  $1361 \text{ W/m}^2$

Irradiancia máxima sobre superficie terrestre, en el mejor de los casos (condiciones ideales) =  $1100 \text{ W/m}^2$

Entonces con reflector de 150W se determina el área:

Ecuación No. 13 Determinación de área.

$$\frac{150W}{A} = 1100 \text{ W/m}^2 \quad (13)$$

$$A = 0.13636 \text{ m}^2$$

Ecuación No. 14 Determinación de un lado del cuadrado.

$$L_{\text{cuadrado}} = \sqrt{A} = 0.3693 \text{ m} \quad (14)$$

$$L_{\text{cuadrado}} \approx 37 \text{ cm}$$

Determinación de altura en función del ángulo de irradiación del reflector (cono).

Medidas de plafonera + reflector: 0.13 m

Ángulo:  $\alpha = 0.35^\circ$  beam angle

$$\frac{\alpha}{2} = 17.5^\circ$$

$$\text{sen}17.5^\circ = \frac{0.185\text{m}}{x}$$

Entonces:

Ecuación No. 15 Determinación de la altura de la caja.

$$h^2 + (0.185)^2 = (0.615)^2 \quad (15)$$
$$h = 0.587m$$

Altura interna de la caja:

Ecuación No. 16 Determinación de altura total interna de la caja incluyendo plafonera y bombilla.

$$H = 0.59m + 0.13m = 0.72m \quad (16)$$

Por lo tanto, las medidas internas del cajón son: 0.38x0.38x0.72 m.

\*El esquema del cajón se muestra en la Figura No. 17. Son 5 lados de madera, el fondo es abierto para colocar la caja encima de la lámina de muestra, que va a medir 0.37x0.37 m.

### **Cálculo 2: Determinación de emisividad de pintura desarrollada**

Haciendo uso de la ecuación No. 9, se determinó la emisividad de la pintura desarrollada. Los datos utilizados son el promedio de los del cuadro no. 46 para el tiempo de 150 minutos.

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (9)$$

$$\epsilon = \frac{Q_{rad}}{\sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alred}^4)}$$

$$\epsilon = \frac{150 w}{5.67E - 08 (w/m^2K^4) * (0.37m * 0.37m) * (421.7K - 316.25K)}$$

$$\epsilon = 0.89$$

\*Este cálculo se realizó de la misma manera para la pintura comercial, utilizando el promedio de los datos del Cuadro No. 46 para el tiempo de 150 minutos.

### **Cálculo No. 3: Determinación de resistencia térmica**

Haciendo uso de la ecuación de resistencia térmica, se determinó la resistencia de la pintura desarrollada. Los datos utilizados son el promedio de la conductividad térmica y el espesor de pintura.

Ecuación No. 17 Resistencia térmica.

$$R = \frac{e}{k} \quad (17)$$

$$R = \frac{0.0003 \text{ m}}{0.418 \text{ W/mK}}$$

$$R = 7.1 \times 10^{-4} \frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\text{W}}$$

\*Este cálculo se realizó de la misma manera para la pintura comercial, utilizando el promedio de los datos del Cuadro No. 8.

### **Cálculo No: 4 Determinación de rendimiento de la pintura desarrollada seleccionada**

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Área pintada} (\text{m}^2)}{\text{Pintura utilizada} (\text{L})} \quad (12)$$

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{L}} \right) = \frac{0.1369 \text{ m}^2}{0.01 (\text{L})}$$

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{L}} \right) = 13.69$$

\*Este cálculo se realizó a partir de la ecuación No. 12 para medir el rendimiento de la pintura desarrollada muestra número 6, en una superficie lisa.

## Ecuaciones de propagación de error y análisis estadístico

Ecuación No. 18 Determinación de promedio.

$$promedio = (\sum valores)/n \quad (18)$$

Donde:

$\sum$  = sumatoria

n = número de valores

Ecuación No. 19 Propagación de error de sumas y restas.

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 \dots} \quad (19)$$

Donde:

$S_y$  = incertidumbre

$S_{a,b,c}$  = Incertidumbre de cada medida a, b, c, etc.

a, b, c... = Valor de cada medida

(Anderson et al., 2014)

Ecuación No. 20 Propagación de error de las multiplicaciones y divisiones.

$$\frac{S_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2 \dots} \quad (20)$$

Donde:

$S_y$  = Incertidumbre del resultado (multiplicación/división)

y = Valor del resultado del cálculo

a, b, c... = Valor de cada medida

$S_{a,b,c}$  = Incertidumbre de cada medida a, b, c, etc.

(Anderson et al., 2014)

## Análisis estadístico

### Cálculos de muestra:

#### **Cálculo 1: Promedio de viscosidad de la pintura desarrollada de la muestra 1.**

$$promedio = \frac{(2840 + 2870 + 2850 + 2860)}{4} = 2855$$

Para este cálculo se utilizaron los datos del Cuadro no. 21, de la muestra 1. Se utilizó la ecuación No. 18 en la sección de ecuaciones de propagación de error y análisis estadístico. Este cálculo se realizó para determinar un promedio de los valores obtenidos de la medición de viscosidad. El mismo cálculo se utilizó para obtener todos los promedios reportados.

## Análisis de error

### Cálculos de muestra:

#### **Cálculo 1: Incertidumbre del promedio de la viscosidad de la pintura desarrollada para la muestra 1.**

$$S_y = 2855 \sqrt{(0.5)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2} = \pm 1$$

Para este cálculo se utilizaron los datos del Cuadro No. 21. Se utilizó la ecuación No. 19. Se calculó la incertidumbre del promedio de la viscosidad de las pinturas desarrolladas para cada muestra, así como también se calculó la del tiempo de secado y brillo. El mismo cálculo se realizó para todas las operaciones de sumas y restas de los datos que tengan incertidumbre y se les haya sacado un promedio.

#### **Cálculo 2: Incertidumbre del calor de conducción en lámina con pintura desarrollada.**

$$\frac{S_y}{4139.34} = \sqrt{\left(\frac{0.005}{0.37}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{0.37}\right)^2 + \left(\frac{0.0707}{0.6}\right)^2}$$

$$S_y = \pm 494.194$$

Para este cálculo se utilizaron los datos del Cuadro No. 56. Se utilizó la ecuación No. 20. Se calculó la incertidumbre del calor de conducción en lámina con

pintura desarrollada en el tiempo de 4 horas. De la misma manera fueron calculadas las incertidumbres del resto de las horas y para la pintura comercial. Con esta ecuación se calcularon todas las incertidumbres de multiplicación y división que hay en este trabajo.

## Datos originales

Cuadro No. 16 Porcentajes de sulfato de bario en cada muestra de pintura desarrollada

Muestra	Porcentaje de sulfato de bario en la pintura
1	control
2	9.4% g/g
3	13.4% g/g
4	17% g/g
5	20.4% g/g
6	23.6% g/g
7	25% g/g

\*Porcentajes medidos a 23°C y 30.16 mmHg.

Figura No. 24 Elaboración de las muestras de pinturas a diferentes concentraciones de sulfato de bario



Cuadro No. 17 Análisis de olor de la pintura desarrollada a 23°C

<b>Olor</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>	<b>Muestra 7</b>
Corrida 1	Acceptable						
Corrida 2	Acceptable						
Corrida 3	Acceptable						
Corrida 4	Acceptable						

Cuadro No. 18 Análisis de color de la pintura desarrollada a 23°C

<b>Color</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>	<b>Muestra 7</b>
Corrida 1	Acceptable						
Corrida 2	Acceptable						
Corrida 3	Acceptable						
Corrida 4	Acceptable						

Figura No. 25 Comparación de color de pintura desarrollada con comercial



Cuadro No. 19 Análisis de textura de la pintura desarrollada a 23°C

<b>Textura</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>	<b>Muestra 7</b>
Corrida 1	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 2	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 3	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 4	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable

Cuadro No. 20 Análisis de tacto de la pintura desarrollada a 23°C

<b>Tacto</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>	<b>Muestra 7</b>
Corrida 1	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 2	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 3	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable
Corrida 4	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aceptable

Cuadro No. 21 Análisis de viscosidad,  $\pm 0.5$  centipoises, de la pintura desarrollada a 23°C

<b>Viscosidad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Muestra 6</b>	<b>Muestra 7</b>
Corrida 1	2840	3270	3400	3440	3540	3570	3700
Corrida 2	2870	3280	3460	3450	3530	3580	3750
Corrida 3	2760	3290	3470	3420	3520	3550	3690
Corrida 4	2860	3270	3460	3460	3500	3590	3790

\*Mediciones realizadas con viscosímetro marca IKA modelo Rotavisc.

Figura No. 26 Análisis de viscosidad de las pinturas desarrolladas

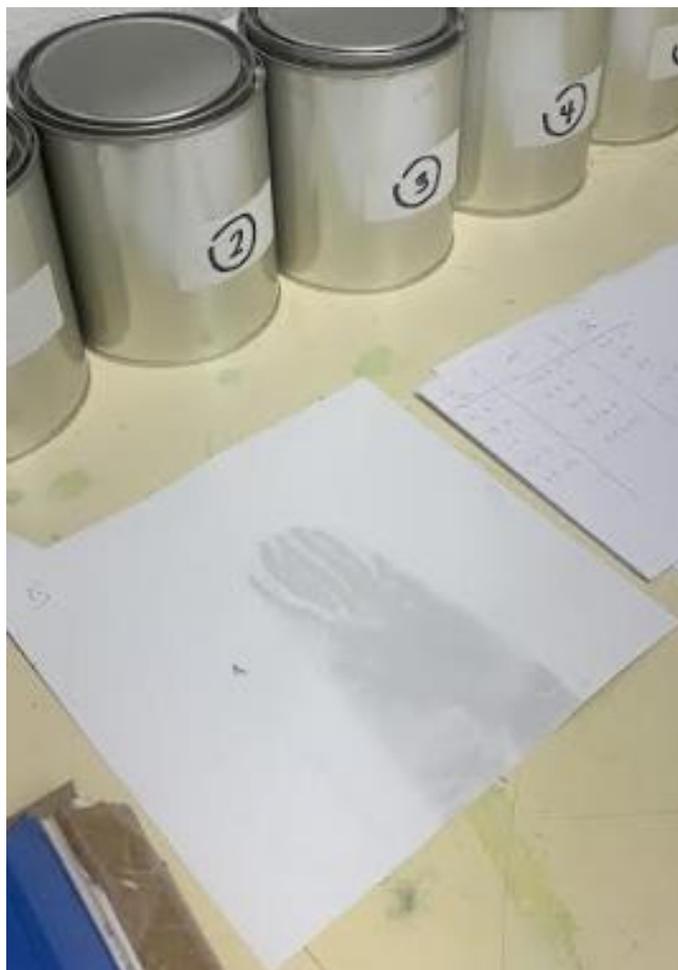


Cuadro No. 22 Análisis de tiempo de secado en minutos de la pintura desarrollada con grosor de cubrimiento de 0.3 milímetros

Tiempo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Corrida 1	30.00	25.00	15.00	15.00	10.00	10.00	15.00
Corrida 2	30.00	25.00	25.00	20.00	15.00	10.00	10.00
Corrida 3	35.00	20.00	20.00	15.00	10.00	10.00	15.00
Corrida 4	35.00	20.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00

\*Mediciones realizadas con aplicación de cronómetro del teléfono Apple modelo XR con incertidumbre de  $\pm 0.5$ .

Figura No. 27 Tiempo de secado de las pinturas desarrolladas con grosor de 0.3 mm.



Cuadro No. 23 Análisis de brillo en unidades GU de la pintura desarrollada con ángulo de 60°

Brillo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Corrida 1	26.7	20.5	14.9	12.8	7.2	5.1	4.3
Corrida 2	26.7	20.3	14.7	12.8	7.6	5.0	4.0
Corrida 3	26.8	20.5	14.9	12.4	7.4	5.3	4.1
Corrida 4	26.7	20.4	14.9	12.6	7.2	5.1	4.2

\*Para realizar estas mediciones se utilizó el equipo glossímetro marca Rhopoint modelo Novo-Gloss con incertidumbre de  $\pm 0.05$ .

### 1. Primera experimentación

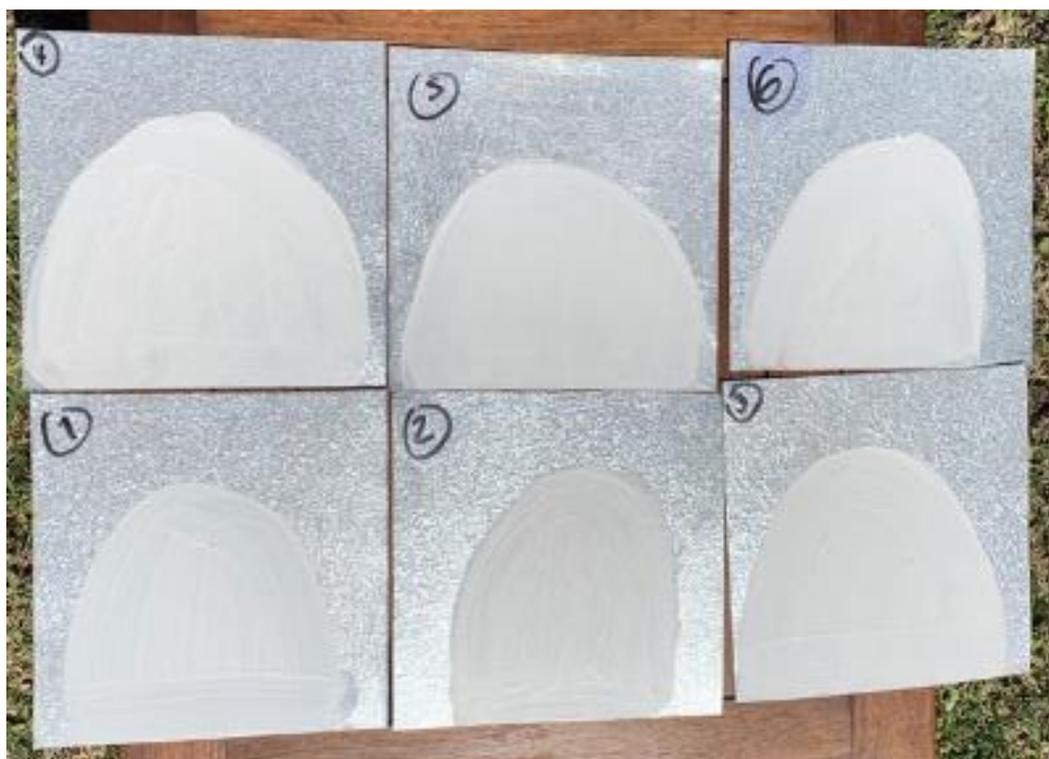
Cielo semi despejado

Cuadro No. 24 Condiciones ambientales de la primera experimentación

Parámetro	Temperatura	Viento	Humedad	Presión	Índice UV	Hora	Intensidad lumínica
Medición	22 °C	21 mi/h	52%	30.16 mmHg	6	1:30 pm	101241 lux

\*Estos datos fueron obtenidos de la aplicación de Clima del teléfono Apple modelo XR.

Figura No. 28 Toma de temperaturas de pintura desarrollada en lámina con cielo semi despejado



Cuadro No. 25 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada (control, 0% de sulfato de bario)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	37.1	36.2	28.4
Corrida 2	36.4	35.2	28.6
Corrida 3	39.3	35.2	29.2
Corrida 4	37.3	34.3	27.6

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 26 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 9.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	31.6	32.4	27.5
Corrida 2	30.5	32.6	28.4
Corrida 3	31.4	33.3	29.3
Corrida 4	30.8	31.4	28.1

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 27 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 13.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	30.4	32.1	27.9
Corrida 2	29.7	33.4	27.6
Corrida 3	28.9	33.7	27.8
Corrida 4	30.1	34.1	26.9

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi-despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 28 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 17%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	27.5	31.9	27.6
Corrida 2	28.3	32.8	26.8
Corrida 3	27.6	33.4	27.4
Corrida 4	28.1	33.1	24.9

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 29 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 20.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	26.4	31.4	23.5
Corrida 2	25.7	30.5	24.3
Corrida 3	25.3	31.3	24.9
Corrida 4	24.6	30.7	23.3

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 30 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 23.6%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	25.3	30.1	24.5
Corrida 2	23.4	29.3	22.6
Corrida 3	23.9	30.7	22.7
Corrida 4	24.6	31.6	24.3

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 31 Medición de temperatura en °C  $\pm 0.05$  de la pintura desarrollada (concentración de sulfato de bario al 25%)

Temperatura	Pintura	Lámina superior	Lámina inferior
Corrida 1	23.4	29.2	22.9
Corrida 2	24.9	30.6	23.5
Corrida 3	23.1	27.5	22.5
Corrida 4	25.1	28.7	23.1

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 32 Medición de temperatura en °C  $\pm 0.05$  de la pintura comercial en cielo semi-despejado

Temperatura	Pintura	Lámina superior	Lámina inferior
Corrida 1	27.1	35.4	28.5
Corrida 2	26.5	33.6	29.3
Corrida 3	25.6	34.7	28.7
Corrida 4	27.1	33.2	27.3

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo semi despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

## 2. Segunda experimentación

Cielo despejado

Cuadro No. 33 Condiciones ambientales de la experimentación en cielo despejado

Parámetro	Temperatura	Viento	Humedad	Presión	Índice UV	Hora	Intensidad lumínica
Valores	22 °C	15 mi/h	59%	30.18 mmHg	11	1:30 pm	285070 lux

\*Estos datos fueron obtenidos de la aplicación de clima del teléfono Apple modelo XR.

Figura No. 29 Toma de temperatura de pintura desarrollada en lámina en cielo despejado



Cuadro No. 34 Medición de temperatura en  $^{\circ}\text{C} \pm 0.05$  de la pintura desarrollada (control 0% de sulfato de bario) en cielo despejado

Temperatura	Pintura	Lámina superior	Lámina inferior
Corrida 1	40.6	41.2	31.9
Corrida 2	38.1	39.7	30.1
Corrida 3	39.2	39.5	29.3
Corrida 4	39.5	40.6	29.2

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 35 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 9.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	35.1	39.7	29.4
Corrida 2	36.5	37.9	29.1
Corrida 3	36.4	38.8	28.7
Corrida 4	35.8	36.1	30.1

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 36 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 13.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	32.4	37.1	28.5
Corrida 2	29.7	36.1	27.6
Corrida 3	30.6	37.7	29.7
Corrida 4	32.1	38.1	28.9

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 37 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 17%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	30.2	36.2	26.5
Corrida 2	27.5	38.4	28.5
Corrida 3	26.3	37.2	27.4
Corrida 4	29.1	36.1	27.9

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 38 Medición de temperatura en °C  $\pm 0.05$  de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 20.4%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	27.4	35.3	24.2
Corrida 2	29.4	38.3	26.5
Corrida 3	25.3	37.5	24.1
Corrida 4	26.4	36.4	25.2

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 39 Medición de temperatura en °C  $\pm 0.05$  de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 23.6%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	26.2	35.4	24.7
Corrida 2	26.4	33.6	26.1
Corrida 3	25.3	34.8	23.9
Corrida 4	26.4	35.7	23.2

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 40 Medición de temperatura en °C  $\pm 0.05$  de la pintura desarrollada  
(concentración de sulfato de bario al 25%)

<b>Temperatura</b>	<b>Pintura</b>	<b>Lámina superior</b>	<b>Lámina inferior</b>
Corrida 1	25.8	35.1	22.6
Corrida 2	26.5	35.3	25.8
Corrida 3	24.2	34.9	24.7
Corrida 4	26.9	33.6	22.7

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

Cuadro No. 41 Medición de temperatura en °C  $\pm$  0.05 de la pintura comercial en cielo despejado

Temperatura	Pintura	Lámina superior	Lámina inferior
Corrida 1	28.1	37.2	29.7
Corrida 2	28.5	37.6	29.5
Corrida 3	27.6	36.9	28.4
Corrida 4	27.1	37.5	30.6

\*Muestra de pintura sobre una superficie de lámina, con 1 hora de exposición al sol. Toma de temperatura a la 1:30 pm, cielo despejado. Medición con termómetro de termocupla marca Extech TM25.

### 3. Medición de temperaturas de pintura desarrollada y comercial

Cuadro No. 42 Condiciones ambientales de la experimentación durante cada medición realizada

Tiempo (horas)	Parámetro	Temperatura	Viento mi/h	Humedad	Presión mmHg	Índice UV	Hora
1	Despejado	18 °C	15	70%	29.99	4	8:30 pm
2	Despejado	21°C	9	55%	29.98	8	9:30 am
3	Despejado	22°C	10	48%	29.95	11	10:30 am
4	Despejado	25°C	13	42%	29.92	12	11:30 am
5	Despejado	26°C	14	40%	29.88	12	12:30 pm
6	Despejado	26°C	15	41%	29.85	9	1:30 pm
7	Despejado	26°C	14	45%	29.84	8	2:30 pm
8	Despejado	25°C	10	46%	29.83	5	3:30 pm
9	Despejado	25°C	8	51%	29.84	2	4:30 pm
10	Despejado	24°C	6	62%	29.90	1	5:30 pm

\*Estos datos fueron obtenidos de la aplicación de clima del teléfono Apple modelo XR para cada hora establecida.

Cuadro No. 43 Temperaturas en °C  $\pm$  0.05 de pintura desarrollada expuesta al sol durante 9 horas

Pintura desarrollada	Temperatura		Intensidad lumínica	
	Tiempo (horas)	Pintura		Lámina inferior
0		16.4	16.2	-
		16.6	16.4	-
		16.2	16.2	-
		16.2	16.2	-
1		25.3	25	56991
		24.7	24	56724
		25.6	24.6	56185
		25.9	27.8	56618
2		28.8	29.4	59568
		29.2	28.4	59516
		29.4	27.2	59535
		28.6	29.4	59551
3		31.6	31.6	120267
		31.8	32	122635
		32.6	31.4	121292
		31.6	31.6	122187
4		32.6	31.6	210373
		31.8	32.4	210550
		32.6	31.6	210006
		32.8	31.8	209469
5		31.4	31.2	286564
		32.6	31.2	287485
		31.8	30.6	286966

<b>Pintura desarrollada</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Pintura desarrollada</b>	<b>Intensidad lumínica</b>
<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Pintura</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	
5	30.6	30.8	286767
6	31.2	31.4	161756
	32.4	31.8	162216
	32.8	32.6	165857
	31.6	31.6	166454
7	26.8	28.2	59500
	26.2	27.4	59516
	26.2	27.6	59612
	26.4	27.2	59532
8	22.4	23	49183
	22.8	23.8	47709
	22.4	24.6	47739
	22.6	23.2	47056
9	22.6	22.4	10382
	23.2	23.8	10905
	22.8	22.8	10561
	22.6	25.6	10122

\*Muestra de pintura desarrollada sobre una superficie de lámina negra, expuesta durante 9 horas al sol. Cielo despejado durante todas las mediciones. Medición con termómetro láser marca Fluke modelo 59 mini IR.

Cuadro No. 44 Temperaturas en °C  $\pm 0.05$  de pintura comercial expuesta al sol durante 9 horas

Pintura desarrollada	Temperatura		Intensidad lumínica	
	Tiempo (horas)	Pintura		Lámina inferior
0		16.2	16.8	-
		16.4	17.6	-
		17.2	16.8	-
		18.4	16.6	-
1		25.2	24.6	56991
		26.8	25.4	56724
		26.4	26.6	56185
		26.4	25.6	56618
2		31.2	29.4	59568
		28.6	28.4	59516
		29.6	28.8	59535
		30.8	28.6	59551
3		33.8	32.3	120267
		32.4	31.2	122635
		33.9	31.8	121292
		32.4	31.2	122187
4		34.8	32.8	210373
		35.2	30.8	210550
		34.8	31.6	210006
		35.6	32.2	209469
5		34.2	30	286564
		35.6	31	287485
		36.2	31.6	286966

<b>Pintura desarrollada</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Pintura desarrollada</b>	<b>Intensidad lumínica</b>
<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Pintura</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	
5	35.8	32.4	286767
6	32.8	32.2	161756
	31.8	33.4	162216
	33.2	32.2	165857
	33.4	33.6	166454
7	29.8	28.2	59500
	29.6	28.2	59516
	28.6	27	59612
	28.4	27.4	59532
8	27.4	24.8	49183
	26.8	24.8	47709
	27.8	23.6	47739
	27	24.8	47056
9	24.6	24.8	10382
	23.2	24.4	10905
	24.6	24.6	10561
	24.4	23.8	10122

\*Muestra de pintura comercial sobre una superficie de lámina negra, expuesta durante 10 horas al sol. Cielo despejado durante todas las mediciones. Medición con termómetro láser marca Fluke modelo 59 mini IR.

Figura No. 30 Comparación de pintura comercial y pintura desarrollada

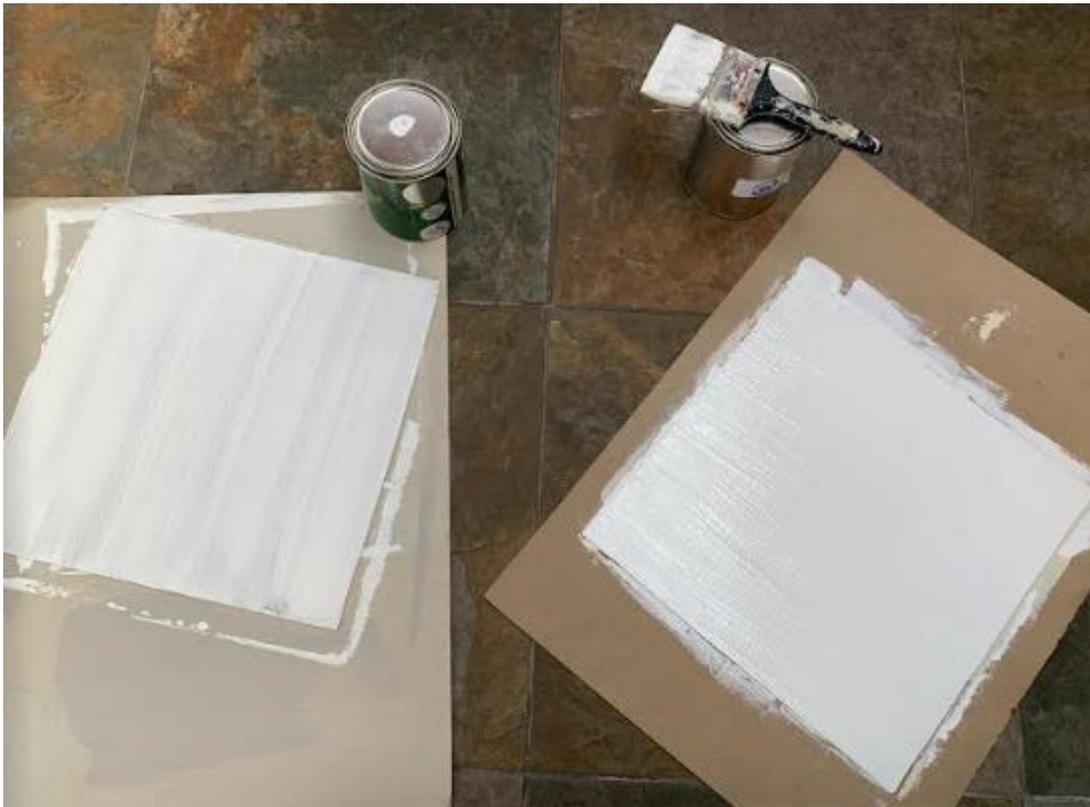
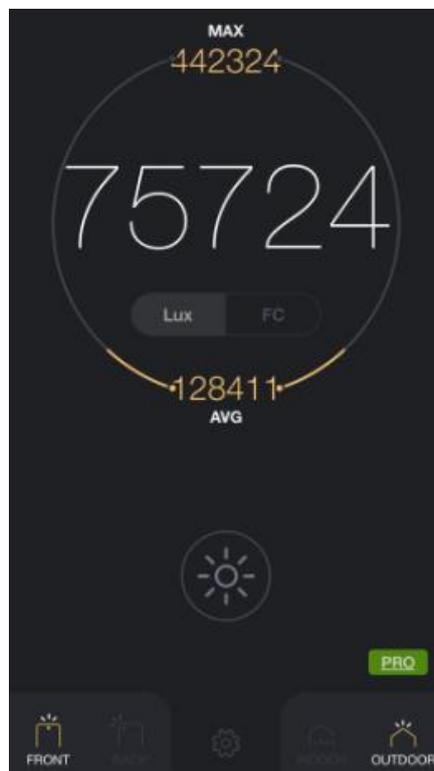


Figura No. 31 Medición de intensidad lumínica medida en lux



\*Las condiciones de esta medición se muestran en el Cuadro No. 42 para la hora 2.

4. Temperaturas obtenidas del dispositivo desarrollado

Figura No. 32 Dispositivo desarrollado para medición de emisividad de pintura



Cuadro No. 45 Medición de temperatura en °C con termómetro láser para determinar emisividad de pintura desarrollada (23.6%)

<b>Pintura comercial</b>	<b>Temperatura</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Pintura comercial</b>	<b>Cuerpo negro</b>
0	$20.5 \pm 0.05$	$19.8 \pm 0.05$
	$20.6 \pm 0.05$	$19.7 \pm 0.05$
	$20.4 \pm 0.05$	$19.6 \pm 0.05$
	$20.6 \pm 0.05$	$19.8 \pm 0.05$
5	$23.5 \pm 0.05$	$24.3 \pm 0.05$
	$24.3 \pm 0.05$	$23.2 \pm 0.05$
	$24.7 \pm 0.05$	$21.6 \pm 0.05$
	$24.1 \pm 0.05$	$23.6 \pm 0.05$
10	$27.6 \pm 0.05$	$26.4 \pm 0.05$
	$28.5 \pm 0.05$	$27.3 \pm 0.05$
	$27.9 \pm 0.05$	$25.4 \pm 0.05$
	$28.1 \pm 0.05$	$26.7 \pm 0.05$
15	$30.2 \pm 0.05$	$31.2 \pm 0.05$
	$19.5 \pm 0.05$	$30.5 \pm 0.05$
	$30.1 \pm 0.05$	$31.2 \pm 0.05$
	$31.6 \pm 0.05$	$30.5 \pm 0.05$
20	$32.7 \pm 0.05$	$31.9 \pm 0.05$
	$31.4 \pm 0.05$	$32.7 \pm 0.05$
	$32.8 \pm 0.05$	$32.9 \pm 0.05$
	$32.5 \pm 0.05$	$33.5 \pm 0.05$
25	$33.1 \pm 0.05$	$34.7 \pm 0.05$
	$34.4 \pm 0.05$	$35.8 \pm 0.05$
	$33.1 \pm 0.05$	$34.6 \pm 0.05$

<b>Pintura comercial</b>	<b>Temperatura</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Pintura comercial</b>	<b>Cuerpo negro</b>
25	$34.2 \pm 0.05$	$33.6 \pm 0.05$
30	$33.5 \pm 0.05$	$34.9 \pm 0.05$
	$33.9 \pm 0.05$	$35.7 \pm 0.05$
	$35.4 \pm 0.05$	$37.6 \pm 0.05$
	$34.7 \pm 0.05$	$36.4 \pm 0.05$
35	$34.5 \pm 0.05$	$35.4 \pm 0.05$
	$34.2 \pm 0.05$	$38.5 \pm 0.05$
	$35.1 \pm 0.05$	$37.6 \pm 0.05$
	$34.9 \pm 0.05$	$36.4 \pm 0.05$
40	$35.3 \pm 0.05$	$37.4 \pm 0.05$
	$34.7 \pm 0.05$	$38.4 \pm 0.05$
	$33.4 \pm 0.05$	$38.2 \pm 0.05$
	$33.2 \pm 0.05$	$37.8 \pm 0.05$
45	$35.2 \pm 0.05$	$39.1 \pm 0.05$
	$35.1 \pm 0.05$	$37.4 \pm 0.05$
	$34.2 \pm 0.05$	$37.6 \pm 0.05$
	$34.6 \pm 0.05$	$36.4 \pm 0.05$
50	$34.9 \pm 0.05$	$40.3 \pm 0.05$
	$34.8 \pm 0.05$	$38.4 \pm 0.05$
	$35.1 \pm 0.05$	$41.8 \pm 0.05$
	$35.7 \pm 0.05$	$38.7 \pm 0.05$
55	$35.6 \pm 0.05$	$41.5 \pm 0.05$
	$35.8 \pm 0.05$	$39.6 \pm 0.05$
	$36.7 \pm 0.05$	$39.2 \pm 0.05$
	$36.1 \pm 0.05$	$40.5 \pm 0.05$

<b>Pintura comercial</b>	<b>Temperatura</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Pintura comercial</b>	<b>Cuerpo negro</b>
60	$37.1 \pm 0.05$	$39.4 \pm 0.05$
	$36.7 \pm 0.05$	$40.6 \pm 0.05$
	$37.8 \pm 0.05$	$35.7 \pm 0.05$
	$37.1 \pm 0.05$	$39.4 \pm 0.05$
65	$37.6 \pm 0.05$	$38.2 \pm 0.05$
	$38 \pm 0.05$	$40.1 \pm 0.05$
	$38.4 \pm 0.05$	$43.5 \pm 0.05$
	$37.4 \pm 0.05$	$40.2 \pm 0.05$
90	$39.1 \pm 0.05$	$50.4 \pm 0.05$
	$38.2 \pm 0.05$	$60.3 \pm 0.05$
	$40.1 \pm 0.05$	$51.3 \pm 0.05$
	$40.2 \pm 0.05$	$65.4 \pm 0.05$
120	$39.1 \pm 0.05$	$80.5 \pm 0.05$
	$41.3 \pm 0.05$	$117.4 \pm 0.05$
	$42 \pm 0.05$	$90.4 \pm 0.05$
	$38.5 \pm 0.05$	$95.7 \pm 0.05$
150	$39.5 \pm 0.05$	$160.2 \pm 0.05$
	$40.3 \pm 0.05$	$153.9 \pm 0.05$
	$41.2 \pm 0.05$	$141.3 \pm 0.05$
	$42.1 \pm 0.05$	$151.6 \pm 0.05$

\*Medición de temperaturas con el termómetro digital Digi-Sense 20250-05.

Cuadro No. 46 Medición de temperatura en °C con termómetro láser para determinar emisividad de pintura comercial

Pintura comercial	Temperatura	
	Pintura comercial	Cuerpo negro
0	$20.7 \pm 0.05$	$19.7 \pm 0.05$
	$20.5 \pm 0.05$	$19.9 \pm 0.05$
	$20.4 \pm 0.05$	$19.8 \pm 0.05$
	$20.6 \pm 0.05$	$19.7 \pm 0.05$
5	$24.3 \pm 0.05$	$24.5 \pm 0.05$
	$25.4 \pm 0.05$	$25.4 \pm 0.05$
	$25.5 \pm 0.05$	$25.3 \pm 0.05$
	$24.2 \pm 0.05$	$24.8 \pm 0.05$
10	$28.7 \pm 0.05$	$27.2 \pm 0.05$
	$28.5 \pm 0.05$	$27.1 \pm 0.05$
	$29.3 \pm 0.05$	$27.3 \pm 0.05$
	$29.2 \pm 0.05$	$26.9 \pm 0.05$
15	$31.2 \pm 0.05$	$30.6 \pm 0.05$
	$29.7 \pm 0.05$	$29.4 \pm 0.05$
	$31.7 \pm 0.05$	$29.2 \pm 0.05$
	$32.1 \pm 0.05$	$29.7 \pm 0.05$
20	$33.7 \pm 0.05$	$31.8 \pm 0.05$
	$32.7 \pm 0.05$	$32.3 \pm 0.05$
	$33.7 \pm 0.05$	$33.1 \pm 0.05$
	$32.4 \pm 0.05$	$31.3 \pm 0.05$
25	$33.6 \pm 0.05$	$34.5 \pm 0.05$
	$35.6 \pm 0.05$	$34.4 \pm 0.05$
	$32.0 \pm 0.05$	$33.5 \pm 0.05$

<b>Pintura comercial</b>	<b>Temperatura</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Pintura comercial</b>	<b>Cuerpo negro</b>
25	$34.5 \pm 0.05$	$34.7 \pm 0.05$
30	$33.8 \pm 0.05$	$34.8 \pm 0.05$
	$34.1 \pm 0.05$	$35.5 \pm 0.05$
	$36.3 \pm 0.05$	$36.4 \pm 0.05$
	$35.9 \pm 0.05$	$35.8 \pm 0.05$
35	$34.3 \pm 0.05$	$36.8 \pm 0.05$
	$33.7 \pm 0.05$	$37.3 \pm 0.05$
	$35.4 \pm 0.05$	$36.3 \pm 0.05$
	$34.6 \pm 0.05$	$35.7 \pm 0.05$
40	$33.9 \pm 0.05$	$35.8 \pm 0.05$
	$34.5 \pm 0.05$	$37.0 \pm 0.05$
	$35.4 \pm 0.05$	$36.3 \pm 0.05$
	$33.1 \pm 0.05$	$37.4 \pm 0.05$
45	$36.2 \pm 0.05$	$39.4 \pm 0.05$
	$34 \pm 0.05$	$36.6 \pm 0.05$
	$34.7 \pm 0.05$	$35.9 \pm 0.05$
	$35.5 \pm 0.05$	$37.3 \pm 0.05$
50	$35.1 \pm 0.05$	$45.8 \pm 0.05$
	$36.9 \pm 0.05$	$38.4 \pm 0.05$
	$35.5 \pm 0.05$	$41.8 \pm 0.05$
	$36.2 \pm 0.05$	$37.6 \pm 0.05$
55	$35.5 \pm 0.05$	$41.2 \pm 0.05$
	$36.8 \pm 0.05$	$37.9 \pm 0.05$
	$36.6 \pm 0.05$	$39.1 \pm 0.05$
	$35.0 \pm 0.05$	$40.9 \pm 0.05$
60	$37.7 \pm 0.05$	$37.5 \pm 0.05$

<b>Pintura comercial</b>	<b>Temperatura</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Pintura comercial</b>	<b>Cuerpo negro</b>
60	$35.9 \pm 0.05$	$40.7 \pm 0.05$
	$39.7 \pm 0.05$	$36.7 \pm 0.05$
	$37 \pm 0.05$	$39.0 \pm 0.05$
65	$37.8 \pm 0.05$	$39.2 \pm 0.05$
	$37.9 \pm 0.05$	$40.2 \pm 0.05$
	$39.4 \pm 0.05$	$44.4 \pm 0.05$
	$36.6 \pm 0.05$	$39.7 \pm 0.05$
90	$40.0 \pm 0.05$	$49.0 \pm 0.05$
	$30.5 \pm 0.05$	$51.7 \pm 0.05$
	$41.2 \pm 0.05$	$51.2 \pm 0.05$
	$40.7 \pm 0.05$	$47.5 \pm 0.05$
120	$45.5 \pm 0.05$	$100.5 \pm 0.05$
	$45.6 \pm 0.05$	$117.4 \pm 0.05$
	$46.3 \pm 0.05$	$111.2 \pm 0.05$
	$43.9 \pm 0.05$	$119.5 \pm 0.05$
150	$42.7 \pm 0.05$	$148.9 \pm 0.05$
	$43.9 \pm 0.05$	$153.6 \pm 0.05$
	$43.2 \pm 0.05$	$139.1 \pm 0.05$
	$42.6 \pm 0.05$	$152.6 \pm 0.05$

\*Medición de temperaturas con el termómetro digital Digi-Sense 20250-05.

Figura No. 33 Toma de temperatura en cuerpo negro para cálculo de emisividad de la pintura desarrollada



Figura No. 34 Toma de temperatura en cuerpo gris para cálculo de emisividad de la pintura desarrollada



## Datos calculados

### Resultado de medición de temperaturas a diferentes concentraciones en cielo semi despejado

Cuadro No. 47 Resultados de temperaturas de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado.

Temperatura	Promedio	Desviación estándar	Rango	Nivel de confianza (95%)
Muestra 1	37.53	1.24	[36.4, 39.3]	1.98
Muestra 2	31.08	0.51	[30.5, 31.6]	0.82
Muestra 3	29.78	0.65	[28.9, 30.4]	1.03
Muestra 4	27.88	0.39	[27.5, 28.3]	0.61
Muestra 5	25.50	0.76	[24.6, 26.4]	1.20
Muestra 6	24.30	0.57	[23.4, 25.3]	1.32
Muestra 7	24.12	1.02	[23.1, 25.1]	1.62
Comercial	26.58	0.71	[25.6, 27.1]	1.13

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 25 al 32, de la columna de temperaturas de pintura. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 48 Resultados de temperaturas de la lámina medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	35.23	1.24	[34.9, 37.7]	1.98
Muestra 2	32.45	0.78	[31.4, 33.3]	1.25
Muestra 3	33.33	0.87	[32.1, 34.1]	1.38
Muestra 4	32.80	0.65	[31.9, 33.4]	1.03
Muestra 5	30.98	0.44	[30.5, 31.4]	0.70
Muestra 6	30.43	0.97	[29.3, 31.6]	1.54
Muestra 7	29.00	1.28	[27.5, 30.6]	2.04
Comercial	34.23	1.01	[33.2, 35.4]	1.60

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 25 al 32, de la columna de temperaturas de lámina superior. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 49 Resultados de temperaturas de la lámina por la parte de abajo medido con termómetro de termocupla en °C y cielo semi despejado

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	28.45	0.66	[27.6, 29.2]	1.05
Muestra 2	28.35	0.75	[27.5, 29.3]	1.19
Muestra 3	27.55	0.45	[26.9, 27.9]	0.72
Muestra 4	26.68	1.23	[24.9, 27.6]	1.96
Muestra 5	24.00	0.74	[23.3, 24.9]	1.18
Muestra 6	23.53	1.01	[22.6, 24.5]	1.61
Muestra 7	23.00	0.42	[22.5, 23.5]	0.66
Comercial	28.45	0.84	[27.3, 29.3]	1.33

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 25 al 32, de la columna de temperaturas de lámina inferior. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech

TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

### Resultado de medición de temperaturas a diferentes concentraciones en cielo despejado

Cuadro No. 50 Resultados de temperaturas de la pintura desarrollada con diferentes concentraciones de sulfato de bario y pintura comercial medido con termómetro de termocupla y cielo despejado

Temperatura	Promedio	Desviación estándar	Rango	Nivel de confianza (95%)
Muestra 1	39.35	1.03	[38.1, 40.6]	1.64
Muestra 2	35.95	0.65	[35.1, 36.5]	1.03
Muestra 3	31.20	1.28	[29.7, 32.4]	2.03
Muestra 4	28.28	1.72	[26.3, 30.2]	2.74
Muestra 5	27.13	1.74	[25.3, 29.4]	2.77
Muestra 6	26.08	0.53	[25.3, 26.4]	0.84
Muestra 7	25.85	0.74	[23.9, 25.4]	1.17
Comercial	27.83	0.61	[27.1, 28.5]	0.97

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 34 al 41, de la columna de temperaturas de pintura. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 51 Resultados de temperaturas de la lámina medido con termómetro de termocupla y cielo despejado

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	40.25	0.79	[39.5, 41.2]	1.26
Muestra 2	38.13	1.54	[36.1, 39.7]	2.45
Muestra 3	37.25	0.87	[36.1, 38.1]	1.38
Muestra 4	36.98	1.07	[36.1, 38.4]	1.71
Muestra 5	36.88	1.31	[35.3, 38.3]	2.08
Muestra 6	34.88	0.93	[33.6, 35.7]	1.48
Muestra 7	34.73	0.77	[33.6, 35.3]	1.22
Comercial	37.30	0.32	[36.9, 37.6]	0.50

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 34 al 41, de la columna de temperaturas de lámina superior. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 52 Resultados de temperaturas de la lámina por la parte de abajo medido con termómetro de termocupla y cielo despejado

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
Muestra 1	30.13	1.99	[29.2, 31.9]	1.99
Muestra 2	29.33	0.94	[28.7, 30.1]	0.94
Muestra 3	28.68	1.40	[27.6, 29.7]	1.39
Muestra 4	27.56	1.35	[26.5, 28.5]	1.35
Muestra 5	25.00	1.78	[24.1, 26.5]	1.78
Muestra 6	24.48	1.98	[23.2, 26.1]	1.98
Muestra 7	23.95	2.50	[22.6, 25.8]	2.49
Comercial	29.55	1.44	[28.4, 30.6]	1.44

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros no. 34 al 41, de la columna de temperaturas de lámina inferior. Se dejó 1 hora en exposición al sol. Se utilizó una termocupla marca Extech

TM25 con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

### **Comparación de temperaturas con pintura a base de sulfato de bario y comercial**

Cuadro No. 53 Resultados de temperatura en  $^{\circ}\text{C}$  de pintura desarrollada con concentración de sulfato de bario al 23.6% con exposición al sol durante 9 horas.

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Temperatura promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
0	16.35	0.19	[16.2, 16.6]	0.30
1	23.38	0.51	[24.7, 25.9]	0.82
2	29.00	0.37	[28.6, 29.4]	0.58
3	31.90	0.48	[31.6, 32.6]	0.76
4	32.45	0.44	[31.8, 32.8]	0.71
5	31.60	0.83	[30.6, 32.6]	1.32
6	32.00	0.73	[31.2, 32.8]	1.16
7	26.40	0.28	[26.2, 26.8]	0.45
8	22.55	0.19	[22.4, 22.8]	0.30
9	22.80	0.28	[22.6, 23.2]	0.45

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro No. 43. Se dejó 9 horas en exposición al sol. Se utilizó un termómetro marca Fluke 59 Mini IR con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

Cuadro No. 54 Resultados de temperatura en °C de pintura comercial con exposición al sol durante 9 horas.

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Temperatura promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Nivel de confianza (95%)</b>
0	17.05	1.00	[16.2, 18.4]	1.59
1	26.20	0.69	[25.2, 26.8]	1.10
2	30.05	1.18	[28.6, 31.2]	1.88
3	33.13	0.84	[32.4, 33.9]	1.33
4	35.10	0.38	[34.8, 35.6]	0.61
5	35.45	0.87	[34.2, 36.2]	1.38
6	32.80	0.71	[31.8, 33.4]	1.13
7	29.10	0.70	[28.4, 29.8]	1.12
8	27.25	0.44	[26.8, 27.8]	0.71
9	24.20	0.67	[23.2, 24.6]	1.07

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro no. 44. Se dejó 9 horas en exposición al sol. Se utilizó un termómetro marca Fluke 59 Mini IR con incertidumbre de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

## Intensidad lumínica

Cuadro No. 55 Resultados de intensidad lumínica en lux por cada medición de temperatura realizada.

Tiempo (horas)	Intensidad lumínica promedio	Desviación estándar	Rango	Nivel de confianza (95%)
1	56629.5	335.3	[56185, 56991]	533.6
2	59542.5	22.2	[59516, 59568]	35.4
3	121595.4	1046.8	[120267, 122635]	1665.7
4	210099.0	477.5	[209469, 210550]	759.8
5	286945.5	395.34	[286564, 287485]	629.1
6	164070.8	2426.85	[161756, 166454]	3861.7
7	59540.0	49.74	[59500, 59612]	79.2
8	47921.75	897.95	[47056, 49183]	1428.8
9	10492.5	328.8	[10122, 10905]	523.2

\*Estos resultados se obtuvieron de los cuadros No. 43 o 44. Se tomaron mediciones durante 9 horas por cada hora. Se utilizó la aplicación de teléfono Light Meter con incertidumbre de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Para realizar el análisis estadístico se utilizó la herramienta estadística descriptiva de Excel con un nivel de confianza para la media del 95%.

**Resultados de transferencia de calor y conductividad térmica en lámina con pintura desarrollada y pintura comercial**

Cuadro No. 56 Resultados de promedio transferencia de calor por conducción medido en W/m<sup>2</sup> en lámina de pintura desarrollada y lámina de pintura comercial por cada medición de temperatura durante el día.

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Transferencia de calor por conducción en pintura desarrollada</b>	<b>Transferencia de calor por conducción en pintura comercial</b>
0	689.89 ± 82.366	689.89 ± 82.387
1	172.47 ± 20.591	4484.28 ± 535.376
2	2759.60 ± 329.462	8623.62 ± 1029.570
3	1724.72 ± 205.914	10348.35 ± 1235.484
4	4139.34 ± 494.194	22421.42 ± 2676.882
5	4484.28 ± 535.376	28975.37 ± 3459.355
6	1034.83 ± 123.548	344.94 ± 41.183
7	-8278.68 ± 988.387	9658.46 ± 1153.118
8	-7588.79 ± 906.022	18971.97 ± 2265.054
9	-5864.06 ± 700.108	-1379.78 ± 164.731

\*Datos calculados a partir del Cuadro No. 43 para la pintura desarrollada y Cuadro No. 44 para la pintura comercial. El cálculo de muestra se encuentra en el balance de energía en Anexos.

Cuadro No. 57 Resultados de la conductividad térmica de la pintura desarrollada y comercial por cada temperatura tomada con exposición de 9 horas al sol

Tiempo (horas)	Conductividad térmica (W/m*K)	
	Pintura desarrollada	Pintura comercial
0	0.405 ± 0.0960	0.333 ± 0.0791
	0.405 ± 0.0960	0.294 ± 0.0698
	0.384 ± 0.0911	0.427 ± 0.1014
	0.384 ± 0.0911	0.707 ± 0.1678
1	0.552 ± 0.1310	0.393 ± 0.0933
	1.330 ± 0.3154	0.596 ± 0.1414
	0.384 ± 0.0911	0.365 ± 0.0867
	0.131 ± 0.0311	0.482 ± 0.1143
2	0.370 ± 0.0878	0.399 ± 0.0946
	0.405 ± 0.0960	0.386 ± 0.0915
	0.446 ± 0.1059	0.390 ± 0.0926
	0.365 ± 0.0.867	0.402 ± 0.0954
3	0.384 ± 0.0911	0.394 ± 0.0935
	0.376 ± 0.0893	0.392 ± 0.0930
	0.437 ± 0.1037	0.398 ± 0.0945
	0.384 ± 0.0911	0.392 ± 0.0930
4	0.401 ± 0.0951	0.390 ± 0.0925
	0.374 ± 0.0888	0.398 ± 0.0943
	0.401 ± 0.0951	0.394 ± 0.0934
	0.401 ± 0.0951	0.394 ± 0.0936
5	0.387 ± 0.0918	0.394 ± 0.0935
	0.406 ± 0.0964	0.395 ± 0.0937
	0.403 ± 0.0956	0.395 ± 0.0937
	0.381 ± 0.0904	0.392 ± 0.0930

Tiempo (horas)	Conductividad térmica (W/m*K)	
	Pintura desarrollada	Pintura desarrollada
6	$0.371 \pm 0.0881$	$0.294 \pm 0.0698$
	$0.427 \pm 0.1014$	$2.051 \pm 0.4866$
	$0.397 \pm 0.0943$	$0.255 \pm 0.0604$
	$0.384 \pm 0.0911$	$0.427 \pm 0.1014$
7	$0.396 \pm 0.0939$	$0.395 \pm 0.0938$
	$0.394 \pm 0.0935$	$0.394 \pm 0.0935$
	$0.396 \pm 0.0939$	$0.395 \pm 0.0938$
	$0.391 \pm 0.0927$	$0.391 \pm 0.0928$
8	$0.389 \pm 0.0924$	$0.393 \pm 0.0933$
	$0.393 \pm 0.0933$	$0.391 \pm 0.0928$
	$0.405 \pm 0.0960$	$0.399 \pm 0.0948$
	$0.389 \pm 0.0924$	$0.392 \pm 0.0930$
9	$0.382 \pm 0.0906$	$0.394 \pm 0.0935$
	$0.391 \pm 0.0928$	$0.453 \pm 0.1075$
	$0.384 \pm 0.0911$	$0.384 \pm 0.0911$
	$0.422 \pm 0.100$	$0.357 \pm 0.0846$

\*Estos resultados se obtuvieron del Cuadro no. 43 para la pintura desarrollada y Cuadro No. 44 para la pintura comercial. Para realizar el cálculo se utilizó la herramienta Excel. El cálculo de la conductividad térmica se muestra en la sección de cálculos de muestra.

## Datos de equipos y reactivos

Cuadro No. 58 Equipos utilizados

No.	Equipo	Marca	Serie	Medición	Rango
1	Dispensor	IKA	T25	rpm	3000 - 25000
2	Viscosímetro	IKA	Rotavisc	cp	0 - 20000
3	Balanza	Precisión	ACS6-ZE14	g	0 - 3000
4	Glossímetro	Rhopoint	Novo-Gloss	GU	20° /60°/ 85°
5	Termómetro digital	Electrometer	212	°C	-49.99 - 299.99
6	Termómetro láser	Digi-Sense	20250-05	°C	0-200
7	Termocupla	Extech	TM25	°C	-40 - 200
8	Bombilla	Standard	Par 38	W	-
9	Termómetro digital	Fluke	59 Mini IR	°C	-30 - 500
10	Aplicador	Bird	BGD201	mm	0.3 mm

Cuadro No. 59 Reactivos utilizados

No.	Nombre	Fórmula	Toxicidad
1	Resina	$C_4H_6O_2$	Altas concentraciones pueden causar irritación en las vías respiratorias
2	Agua	$H_2O$	No presenta toxicidad
3	Sulfato de bario	$BaSO_4$	Puede ocasionar irritación a la piel y daño respiratorio.
4	Carbonato de calcio	$CaCO_3$	La inhalación de carbonato de calcio puede irritar la nariz, la garganta y el pulmón, causando tos. Irritación en ojos y piel.
5	Espesante	-	-
6	Aditivos	-	-

\*Para ver especificaciones de los reactivos ir a Anexos - Fichas técnicas de los reactivos utilizados.

## Equipos utilizados

Figura No. 35 Dispensor marca IKA modelo T25



Figura No. 36 Viscosímetro marca IKA modelo Rotavisc



Figura No. 37 Balanza de medición marca Precisión modelo ACS6-ZE14



Figura No. 38 Glossímetro marca Rhopoint modelo Novo-Gloss



Figura No. 39 Termómetro digital Electrometer modelo 212



Figura No. 40 Termómetro láser Digi-Sense modelo 20250-05



Figura No. 41 Termocupla marca Extech modelo TM25



Figura No. 42 Bombilla Standard Par 38

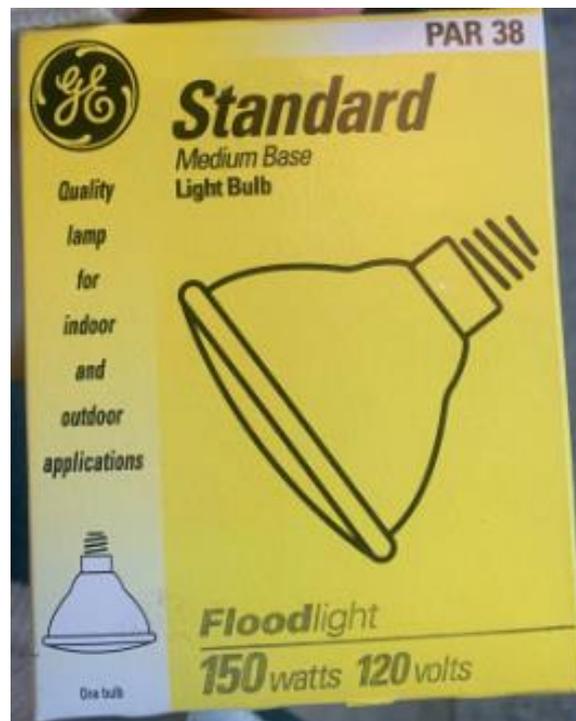


Figura No. 43 Termómetro digital Fluke modelo 59 Mini IR



Figura No. 44 Aplicador de pintura marca Bird BGD201/10



## Fichas técnicas de reactivos utilizados

Figura No. 45 Ficha técnica de la resina epóxica

### FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS)



Sika® Epoxi 100HS Serie 300 Comp. A

#### SECCION 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

##### 1.1 Identificación del producto

**Nombre del producto:** Sika® Epoxi 100HS Serie 300 Comp. A  
**Código:** 0995

##### 1.2 Usos pertinente identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

###### Uso del producto:

- ✓ Sistema epóxico multi-uso 100% sólidos para superficies metálicas y de concreto.

##### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

**Fabricante/ Distribuidor:** Sika Colombia S.A.S.  
Vereda Canavita km 20.5 Autopista Norte  
Tocancipá, Cundinamarca  
Colombia  
col.sika.com

**Número de Teléfono:** (+571) 878 – 6333  
**Número de Fax:** (+571) 878 – 6666  
**Dirección de email de la persona responsable de esta FDS:** controlcalidad.lab@co.sika.com

**1.4 En caso de emergencia:** CISPROQUIM  
Bogotá: 2886012 / 2886355  
Resto del país: 01 8000 916012

#### SECCION 2: Identificación de los peligros

##### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

###### Clasificación SGA

**Corrosión o irritación cutánea:** Categoría 2

**Lesiones o irritación ocular grave:** Categoría 2A

**Sensibilización cutánea:** Categoría 1

**Toxicidad acuática crónica:** Categoría 2

Figura No. 46 Ficha técnica del sulfato de bario

1   Identificación del producto				
Nombre químico:	Sinónimos:	Fórmula:	Peso Molecular:	Familia Química:
<b>SULFATO DE BARIO</b>	<b>N/D</b>	<b>BaSO<sub>4</sub></b>	<b>233.40</b>	<b>OXOANIONES</b>
<b>Uso recomendado:</b> Uso analítico.				
<b>Restricciones de uso del producto:</b> Sin datos disponibles.				
2   Identificación de peligro o peligros				
<b>Peligros Físicos:</b> N/D				
<b>Peligros para la Salud:</b> N/D				
ELEMENTOS GHS [SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO] Identificador SGA (Consejos de Precaución):				
				
Palabras de advertencia: <b>Atención</b>				
P261	Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.			
P264	Lavarse la piel concienzudamente después de la manipulación.			
P270	No comer, beber o fumar mientras se manipula este producto.			
P273	No dispersar en medio ambiente.			
P280	Usar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para la cara/ ojos.			
P301+P312+P330	EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico si la persona se encuentra mal. Enjuagarse la boca.			
P305+P351+P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.			
P337+P313	Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.			
P501	Eliminar el contenido/ el recipiente.			

Figura No. 47 Ficha técnica del carbonato de calcio



**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD**

*De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015*

**CARBONATO DE CALCIO**

Fecha de elaboración: 1 de julio de 2009      Fecha de revisión: 11 de mayo de 2016      Revisión No. 2

**SECCIÓN 1.- IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA PELIGROSA O MEZCLA Y DEL PROVEEDOR O FABRICANTE**

- 1.- Nombre de la sustancia: Carbonato de calcio.
- 2.- Otros medios de identificación: Carbonato cálcico, ácido carbónico, sal de calcio, calcita, aragonita, piedra caliza
- 3.- Uso de la sustancia: Manufactura de pintura, caucho, plástico, adhesivos, papel, dentífricos, cemento, cerámica, cosméticos, pesticidas, insecticidas, antibióticos, agente neutralizante, aditivo de alimentos.
- 4.- Datos del proveedor/fabricante: Química Pima, S.A. de C.V. \* Del Cobre 20 Parque Industrial \* Hermosillo, Sonora. 83297
- 5.- Teléfono de emergencia: (662) 251-00-10, 251-03-16, 251-04-28 y 251-07-66      **SETIQ: 01-800-002-1400**

**SECCIÓN 2.- IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

1. Clasificación de la sustancia: Este producto no está clasificado como peligroso para la salud humana. Es básicamente inofensivo cuando se maneja correctamente.

- Corrosión/irritación cutáneas      Categoría 2
- Lesiones oculares graves/irritación ocular      Categoría 2B
- Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única)      Categoría 3

2. Elemento de la señalización, incluidos los consejos de prudencia y pictogramas de precaución.

Palabra de advertencia:      Atención

Pictogramas de peligro:



- Declaraciones de peligro:
- H315 Provoca irritación cutánea.
  - H320 Provoca irritación ocular.
  - H335 Puede irritar las vías respiratorias.

### XIII. GLOSARIO

1. Anegamiento o flotación: defecto que aparece algunas veces en las películas o capas de pintura, consiste en la separación de las partículas de pigmento, dando así un color no uniforme.
2. Coalescencia: proceso en que se evapora el agua o el disolvente correspondiente. Las partículas de polímero se acercan unas a otras; a medida que se va evaporando el agua se deforman y se unen de forma progresiva formando una película.
3. Conductividad térmica: es una medida de la capacidad de un material para conducir el calor. Se define como la cantidad de calor que fluye a través de un material por unidad de tiempo, por unidad de área y por una diferencia de temperatura dada.
4. Cuarteamiento: roturas ligeras y finas en la superficie de una película o capa de pintura, visible a simple vista o con lupa de 10 aumentos.
5. Diluyente: se refiere normalmente al disolvente volátil.
6. Emisividad: Es una medida de la capacidad de un material para emitir calor por radiación.
7. Enyesado o caleo: polvo de pigmento y cargas sueltas en la superficie de la película expuesta al medio ambiente, producido por la erosión de la capa exterior de aglomerante o ligante. La descomposición de una película de pintura por los rayos del sol que lo deteriora formando un polvo suelto encima de la superficie. El caleo ligero, conserva el color original de la pintura (colores pastel), el cual es tolerable. El caleo profundo que se arrastra por la lluvia dejando una superficie vulnerable es indeseable. Antes de repintar una superficie caleada, hay que eliminar todo el polvo, lo que se logra con un cepillado vigoroso.
8. Fisuración: roturas en una película o capa de pintura que se extienden desde la superficie hacia zonas más profundas.
9. Pigmento dilatador: mejor denominado cargas o extendedores son compuestos que tienen poco poder cubriente, pero que se incluyen en las pinturas con otras finalidades. Se trata normalmente de carbonatos y silicatos. Estos se hacen traslúcidos cuando se dispersan en pinturas líquidas.
10. Pot-life: tiempo disponible en pinturas de dos componentes para su utilización, antes de perder sus características.
11. Secado al tacto: una película de pintura está "seca al tacto" cuando puede tocarse ligeramente con los dedos sin que algo de la pintura se adhiera.
12. Vehículo: porción o fase líquida de una pintura, como fase distinta a los pigmentos y cargas.
13. VOC o COV: compuestos orgánicos volátiles que durante el proceso de secado pasan de la pintura a la atmósfera suelen ser disolventes, monómeros libres, etc.