UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

# ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE $NiTiO_3$ A PINTURAS EN LA DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA DE CONFORT DE AMBIENTES FABRICADOS CON PLACAS METÁLICAS A NIVEL DE LABORATORIO

## TESIS

Presentada por:

Bach. Franklin Carlos Calisaya Pinto

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

# ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE $NiTiO_3$ A PINTURAS EN LA DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA DE CONFORT DE AMBIENTES FABRICADOS CON PLACAS METÁLICAS A NIVEL DE LABORATORIO

Trabajo de tesis sustentado por el bachiller FRANKLIN CARLOS CALISAYA PINTO aprobado el 05 de diciembre del 2019, el jurado calificador estuvo integrado por:

PRESIDENTE : _____
Dr. Jesús Placido Medina Salas

SECRETARIO : _____
MSc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

VOCAL : _____
MSc. Avelino Godofredo Pari Pinto

ASESOR : _____
MSc. Francisco Gamarra Gómez

## DEDICATORIA

La presente tésis se lo dedico con mucho aprecio a mis padres Valentín Calisaya y Sebastiana Pinto, quienes siempre me apoyaron para la culminación de esta etapa estudiantil, siendo ellos el mejor ejemplo de superación en mi vida.

A mi hermana Karina Calisaya, quien también con su apoyo y ejemplo profesional me motivaron a seguir y culminar mi tésis.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme fortaleza y sabiduría para poder culminar uno de mis objetivos más anhelados.

A mis padres, quienes siempre estuvieron detrás de mí, confiando y apoyándome incondicionalmente, para seguir adelante y poder culminar mi tésis.

A mi co-asesor Lic.  Elisban Sacari Sacari, quien siempre estuvo apoyándome en el proceso y a mi asesor Mgr. Francisco Gamarra Gómez por su conocimiento brindado.

Franklin Calisaya P.

## CONTENIDO

**DEDICATORIA** iii

**AGRADECIMIENTO** iv

**CONTENIDO** v

**ÍNDICE DE TABLAS** x

**ÍNDICE DE FIGURAS** xi

**RESUMEN** xvi

**ABSTRACT** xvii

**INTRODUCCIÓN** 1

**CAPÍTULO I**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Formulación del problema 3

1.1.1. Problema general 3

1.1.2. Problemas específicos 3

1.2. Justificación 4

1.3. Alcances y limitaciones 4

1.4. Objetivos 5

1.4.1. Objetivo general 5

1.4.2. Objetivos específicos 5

1.5. Hipótesis 6

1.5.1. Hipótesis general 6

1.5.2. Hipótesis específicas 6

1.6. Variables 7

1.6.1. Identificación de variables 7

1.6.2. Definición de variables 7

1.6.3. Operacionalización de variables 8

1.6.4. Clasificación de variables 9

1.7. Diseño de la investigación 9

1.7.1. Diseño experimental 9

1.7.2. Población y muestra 11

1.7.3. Técnicas e instrumentos para recolección de datos 12

1.7.4. Análisis de datos 12

1.7.5. Selección de pruebas estadísticas 12

**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO**


2.1. Marco referencial 13

2.2. Bases teóricas 14

2.3. Radiación solar y transferencia de calor 16

2.3.1. Reflexión de rayos infrarrojos 16

2.3.2. Pintura reflectante 17

2.3.3. Principios de ahorro energético por materiales reflectantes y absorbentes de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR). 28

2.3.3.1. Ahorro energético por materiales reflectantes de NIR 28

2.3.3.2. Ahorro de energía mediante materiales absorbentes de NIR 29

2.3.4. Revisión de materiales reflectantes de NIR 29

2.3.4.1. Metales de transición 29

2.3.4.2. Materiales inorgánicos reflectantes de NIR 33

2.3.4.3. Materiales orgánicos reflectantes NIR 53

2.3.4.4. Material reflectante de NIR natural: clorofila 55

2.3.5. Evaluaciones de materiales reflectivos de NIR 56

2.3.6. Aplicaciones de materiales reflectantes de NIR. 57

2.3.7. Confort térmico 59

2.3.8. Container para oficina 64

2.4. Técnicas de caracterización 67

2.4.1. Espectroscopía UV - Visible 67

2.4.2. Difracción de rayos X 69

2.5. Definición conceptual de términos 71

2.5.1. Estructura cristalina 71

2.5.2. Nanomateriales 74

2.5.3. Morfología de las nanopartículas 75

2.5.4. Identificación de variables 76

2.5.5. Definición de variables 76

**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA**

3.1. Preparación del sustrato 77

3.2. Elaboración de la pintura con el $NiTiO_3$ 78

3.3. Deposición de la pintura sobre el sustrato 80

3.4. Caracterización óptica de las muestras 84

3.5. Caracterización térmica de las muestras 84

**CAPÍTULO IV** 87

**RESULTADOS** 87

4.1. Caracterización de nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopia UV-visible. 87

4.2. Caracterización de reflectancia de superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con $NiTiO_3$ con espectroscopia UV-visible. 90

4.3. Evaluación de temperatura de confort con una fuente de luz de 1000 $W/m^2$ 99

**CAPÍTULO V**

**DISCUSIONES** 125

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ANEXOS**

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables 8

Tabla 2. Diseño experimental 10

Tabla 3. Recubrimiento multicapa de baja emisividad 31

Tabla 4. Reflectividad y emisividad espectral normal calculada en 6 y 10 μm para aluminio, oro y plata. 32

Tabla 5. Reflectancia de los pigmentos de óxidos metálicos, la reflectancia se comparó con el rutilo comercial $TiO_2$ 35

Tabla 6. Propiedades de reflectancia de NIR de óxidos metálicos nanocristalinos y óxidos metálicos macrocristalinos 36

Tabla 7. Propiedades de varios elementos del grupo V 44

Tabla 8. Resultados obtenidos 133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de la radiación solar 18

Figura 2. Espectros de radiación solar y actividad fotosintética 26

Figura 3. Propagación de la luz a través de la interfaz 27

Figura 4. Cristal reflectante de NIR 28

Figura 5. Reflectancia de los metales 31

Figura 6. Reflectancia de los pigmentos de óxidos metálicos, la reflectancia se comparó con el rutilo comercial $TiO_2$. 34

Figura 7. Muestras de óxidos metálicos con diferentes colores, ref. Solar: relación de la radiación solar reflejada desde un material a la cantidad de brillo en el material incluyéndose la luz visible. 35

Figura 8. Reflectividad del pigmento ferro verde en comparación con una curva de clorofila. El pigmento verde ferro muestra una reflectividad mejorada del 50 % en el rango NIR. 40

Figura 9. Espectros de reflectancia UV/VIS/NIR incluidos especularmente experimentales de pigmentos de ZnO sintetizados. 45

Figura 10. Estructura del $NiTiO_3$ 50

Figura 11. Espectros de reflexión difusa UV-Vis-NIR de nanopartículas de $NiTiO_3$ tratadas térmicamente a diferentes temperaturas. 53

Figura 12. Estructura y reflectancia IR de la ftalocianina de cobre. 54

Figura 13. Estructura y reflectancia IR de los compuestos azoicos. 55

Figura 14. Reflejo de clorofila. 56

Figura 15. Principio de reflectancia retrodispersada para la transmisión de partículas. 59

Figura 16. Diagrama bioclimático de Givoni 62

Figura 17. Container para oficina 65

Figura 18. Espectrómetro UV-Vis/NIR Jasco V-670 68

Figura 19. Reflectancia según superficies 68

Figura 20. Ley de Bragg 70

Figura 21. Nanomateriales 74

Figura 22. Distintas morfologías del ZnO 75

Figura 23. Placas de aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36 77

Figura 24. Agitador ultrasónico 78

Figura 25. Balanza analítica 79

Figura 26. Pintado de las placas de aluminio con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas 81

Figura 27. Pintado de las placas de acero inoxidable 304 con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas 82

Figura 28. Pintado de las placas de acero A36 con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas 83

Figura 29. Vista de la caja con la placa para medir su temperatura de calentamiento y enfriamiento 85

Figura 30. Evaluación de calentamiento 86

Figura 31. Evaluación de enfriamiento 86

Figura 32. Patrón de difracción de rayos X de los nanocristales del $NiTiO_3$ 88

Figura 33. Estructura del $NiTiO_3$ 88

Figura 34. Espectros de reflexión difusa UV-Vis-NIR de nanopartículas de $NiTiO_3$ 89

Figura 35. Muestras de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ 92

Figura 36. Muestras de acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ 95

Figura 37. Muestras de acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ 98

Figura 38. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa 102

Figura 39. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa 105

Figura 40. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa 108

Figura 41. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas 111

Figura 42. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas 113

Figura 43. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas. 116

Figura 44. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa 119

Figura 45. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa 121

Figura 46. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa 124

Figura 47. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de aluminio y la temperatura de confort a nivel de laboratorio. 128

Figura 48. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de acero inoxidable 304 y la temperatura de confort a nivel de laboratorio. 129

Figura 49. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de acero inoxidable 304 A36 y la temperatura de confort a nivel de laboratorio. 131

## RESUMEN

La tesis titulada “Estudio del efecto de la adición de nanopartículas $NiTiO_3$ a pinturas en la disminución de temperatura de confort de ambientes fabricados con placas metálicas a nivel de laboratorio” se llevó acabo con el objetivo de desarrollar un compuesto con nanopartículas de $NiTiO_3$ que sea capaz de reflejar la radiación infrarroja para mejorar el confort térmico dentro de los containers en los campamentos.

Para esto, se caracterizó las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X, y la reflectancia de las superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ y a su vez con capas de pintura mediante espectroscopia UV-visible.

Evaluándose la temperatura de confort de una cabina hecha del material de estudio irradiada con una fuente de luz de 1000 $W/m^2$.

Los datos obtenidos se muestran mediante gráficos comparativos, en donde se puede observar los resultados más óptimos respectivamente, y se determinó la mejor opción de la muestra (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) con pintura y las nanopartículas de $NiTiO_3$ y así mejorar el confort térmico en los containers.



Palabras clave: Nanopartículas $NiTiO_3$, pinturas, placas metálicas y temperatura.

## ABSTRACT

The thesis entitled "Study of the effect of the addition of NiTiO3 nanoparticles to paints in reducing the comfort temperature of environments made with metal plates at the laboratory level" was carried out with the aim of developing a compound with NiTiO3 nanoparticles that is capable of to reflect infrared radiation to improve thermal comfort inside the containers in the camps.

For this, the NiTiO3 nanoparticles were characterized by X-ray diffraction techniques, and the reflectance of the surfaces (aluminum, 304 stainless steel and A36 steel) and the paint deposited with different percentages of NiTiO3 and in turn with layers of paint using UV-visible spectroscopy.

Evaluating the comfort temperature of a cabin made of study material irradiated with a light source of 1000 W / m2.

The data obtained are shown through comparative graphs, where the most optimal results can be observed respectively, and the best option of the sample (aluminum, 304 stainless steel and A36 steel) was determined with paint and NiTiO3 nanoparticles and thus improve the thermal comfort in containers.



Keywords: NiTiO3 nanoparticles, paints, metallic plates and temperature.

# INTRODUCCIÓN

Uno de los retos que enfrenta el mundo hoy en día es lo relacionado con el medio ambiente y de manera especial, con la contaminación ambiental, la que en las últimas décadas ha sido objeto de innumerables estudios, tratando de proponer estrategias que logren remediar o mitigar dicha contaminación.

Dentro de los factores que han influido en el incremento de la contaminación ambiental se pueden mencionar las emisiones atmosféricas, cuyas fuentes contaminantes en gran medida son: el parque vehicular, las empresas y el incremento poblacional, entre otras causas, provocando un aumento considerable del porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera. Otros contaminantes existentes son los pesticidas y los herbicidas que se utilizan en la agricultura y afectan de manera directa al suelo.

En el Perú está la preocupación en disminuir la contaminación ambiental, dado que la productividad de las operaciones empresariales se ve afectado por los altos costos de producción.

Actualmente los containers ubicados en zonas alejadas de los centros urbanos están sujetos a ambientes térmicos no deseables a consecuencia de la radiación solar. Por otro lado, se observa un alto consumo de combustible para lograr un acondicionamiento de aire suficiente en los ambientes internos de los containers. El

alto costo ocasionado por los combustibles fósiles utilizados para propiciar el ambiente térmico saludable ocasionará consecuencias económicas negativas, así como el efecto invernadero que traerá como consecuencia serios problemas en la naturaleza.

A fin de controlar los efectos adversos mencionados, se propone la investigación "Estudio del efecto de la adición de nanopartículas $NiTiO_3$ a pinturas en la disminución de temperatura de confort de ambientes fabricados con placas metálicas a nivel de laboratorio".

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Formulación del problema

### 1.1.1. Problema general

¿El uso de un compuesto con nanopartículas de $NiTiO_3$ influye en la temperatura de los materiales metálicos que serán usados en los containers ubicados en los campamentos aislados?

### 1.1.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Es factible caracterizar las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopia UV-visible?
- ✓ ¿Es posible caracterizar la reflectancia de las superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ y a su vez con capas de pintura mediante espectroscopia UV-visible?
- ✓ ¿Es viable evaluar la temperatura de confort de una cabina hecha del material de estudio irradiada con una fuente de luz de 1000 $W/m^2$?

## 1.2. Justificación

El elevado costo de los combustibles fósiles, así como su constante incremento para cubrir la demanda eléctrica en los campamentos, hace que el uso de este tipo de compuesto que refleja la radiación infrarroja sea factible para mantener la temperatura de confort en las oficinas del tipo container en temporada de verano.

En consecuencia, evitar los impactos negativos de la elevada temperatura en dichos ambientes, lo cual contribuirá en una mejor productividad, beneficiando a la empresa, compañía entre otros.

Se evitará el consumo de combustibles fósiles, así como la generación de emisiones de $CO_2$.

Se evita la compra de aditivos para el correcto funcionamiento del generador, lo que disminuirá la generación de residuos sólidos, así como líquidos (aceites, entre otros). Para mejorar el cuidado del ecosistema del lugar.

Al mantener una temperatura de bienestar dentro de las oficinas de este tipo se ocasiona un mejor ambiente de trabajo. Generando un buen rendimiento físico y mental de los trabajadores, y evitando posibles riesgos y accidentes.

## 1.3. Alcances y limitaciones

Alcances: aplicación de este compuesto en toda estructura que requiera disminuir la temperatura.

Se pudo realizar la medición del $NiTiO_3$, con la balanza analítica, la dispersión con el agitador ultrasónico y la caracterización de las nanopartículas del $NiTiO_3$, con el espectrómetro UV-Vis/NIR, del laboratorio de nanotecnología de la UNJBG.

Limitaciones: el costo de las nanopartículas, en pequeña cantidad hace que su producción sea cara debido al costo de los reactivos, mientras a mayor cantidad disminuyen los costos.

Los resultados obtenidos fueron a nivel de laboratorio, el costo fue mínimo.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un compuesto con nanopartículas de $NiTiO_3$ que sea capaz de reflejar la radiación infrarroja para mejorar el confort térmico dentro de los containers en los campamentos.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopia UV-visible.
- ✓ Caracterizar la reflectancia de las superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ y a su vez con capas de pintura mediante espectroscopia UV-visible.

- ✓ Evaluar la temperatura de confort de una cabina hecha del material de estudio irradiada con una fuente de luz de 1000 $W/m^2$.

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis general

Un compuesto a base de pintura y nanopartículas de $NiTiO_3$ influyen en la temperatura de los materiales metálicos (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) usados en los containers en los campamentos.

### 1.5.2. Hipótesis específicas

- ✓ Es factible la caracterización de las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopia UV-visible.
- ✓ La reflectancia de las superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ pueden caracterizarse mediante espectroscopia UV-visible.
- ✓ La evaluación de la temperatura de confort de una cabina hecha del material de aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36, puede hacerse irradiando con una fuente de luz de 1000 $W/m^2$.

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Identificación de variables

- Concentración de $NiTiO_3$, representa la cantidad a agregar de nanopartículas a la pintura, las cuales serán: 100 mg, 300 mg, 500 mg.
- Número de capas de pintura.
- Tipo de material.
- Reflexión de la radiación solar.
- Disminución de temperatura.

### 1.6.2. Definición de variables

- ✓ **Variables independientes:**

  Concentración de $NiTiO_3$.

  Número de capas de pintura.

  Tipo de material.

- ✓ **Variables dependientes:**

  Reflexión de la radiación solar.

  Disminución de temperatura.

### 1.6.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variables | Tipo de variable | Dimensión | Técnica | Indicador | Pruebas Estadísticas |
|---|---|---|---|---|---|
| Concentración de $NiTiO_3$ | Por su naturaleza | Balanza analítica | Pesaje | Cantidad de material | Descriptiva |
| Número de capas de pintura | Relacional | UV-visible | Espectroscopia UV-visible | Reflectancia | Descriptiva |
| | | Temperatura | Termocupla de contácto | Variación de temperatura (K) | |
| Tipo de material | Relacional | UV-visible | Espectroscopia UV-visible | Reflectancia | Descriptiva |
| | | Temperatura | Termocupla de contácto | Variación de temperatura (K) | |

Fuente: Elaboración propia.

### 1.6.4. Clasificación de variables

- ✓ **Cualitativa:**

- Nominales
- Ordinales

- ✓ **Cuantitativa:**

- Discreta

  Tipo de material (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36).

  Concentración de $NiTiO_3$ (100 mg, 300 mg y 500 mg).

- Continua

  Número de capas de pintura/ $NiTiO_3$ (1, 2 y 3).

## 1.7. Diseño de la investigación

### 1.7.1. Diseño experimental

El diseño experimental seleccionado para la presente tesis el FACTORIAL POR BLOQUES, de acuerdo la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Diseño experimental*

| BLOQUE | Concentración de $NiTiO_3$ (mg) | Numero de capas * (Nº de veces) | Tipo de material (Tipo) | Reflexión de la radiación solar (%reflexión) | Disminución de temp. (K) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 1 | Acero inoxidable 304 | | |
| 2 | 100 | 1 | Acero A36 | | |
| 3 | 100 | 1 | Aluminio | | |
| 4 | 100 | 2 | Acero inoxidable 304 | | |
| 5 | 100 | 2 | Acero A36 | | |
| 6 | 100 | 2 | Aluminio | | |
| 7 | 100 | 3 | Acero inoxidable 304 | | |
| 8 | 100 | 3 | Acero A36 | | |
| 9 | 100 | 3 | Aluminio | | |
| 10 | 300 | 1 | Acero inoxidable 304 | | |
| 11 | 300 | 1 | Acero A36 | | |
| 12 | 300 | 1 | Aluminio | | |
| 13 | 300 | 2 | Acero inoxidable 304 | | |
| 14 | 300 | 2 | Acero A36 | | |
| 15 | 300 | 2 | Aluminio | | |
| 16 | 300 | 3 | Acero inoxidable 304 | | |
| 17 | 300 | 3 | Acero A36 | | |
| 18 | 300 | 3 | Aluminio | | |

Continuación de la tabla 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | Acero |
| 19 | 500 | 1 | inoxidable 304 |
| 20 | 500 | 1 | Acero A36 |
| 21 | 500 | 1 | Aluminio |
| | | | Acero |
| 22 | 500 | 2 | inoxidable 304 |
| 23 | 500 | 2 | Acero A36 |
| 24 | 500 | 2 | Aluminio |
| | | | Acero |
| 25 | 500 | 3 | inoxidable 304 |
| 26 | 500 | 3 | Acero A36 |
| 27 | 500 | 3 | Aluminio |

Fuente: Elaboración propia.

*Los espesores de las capas se encuentra detallados en las Figuras 26, 27 y 28.

Donde las variables a estudiar son:

- ✓ Concentración de $NiTiO_{3.}$
- ✓ Número de capas de pintura.
- ✓ Tipo de material.

Y los resultados a estudiar son:

- ✓ Reflexión de la radiación solar.
- ✓ Disminución de temperatura.

### 1.7.2. Población y muestra

La población y muestra son 27 ensayos.

### 1.7.3. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

La estructura cristalina será estudiada mediante difracción de rayos X.

Los datos de reflexión serán tomadas mediante espectroscopia UV-Visible.

Los datos de disminución de temperatura serán tomadas mediante una termocupla de contacto.

### 1.7.4. Análisis de datos

Los resultados serán analizados mediante curvas de reflexión y gráficos comparativos de la variación térmica en función a la temperatura.

### 1.7.5. Selección de pruebas estadísticas

Descriptiva.

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Marco referencial

Tong Y., Fu J., Chen Z., (2016) de la escuela de ingeniería civil y comunicaciones, universidad de recursos hídricos y energía eléctrica del norte de China, Zhengzhou 450011, en un artículo de investigación, trataron el tema de "Síntesis, caracterización y reflectancia NIR de los pigmentos compuestos $NiTiO_3$ y $NiTiO_3/TiO_2$ altamente dispersos". El objetivo de este trabajo fue la fabricación de los pigmentos nano amarillados $NiTiO_3$ y $NiTiO_3/TiO_2$ altamente dispersos. Las conclusiones de esta investigación indican que los pigmentos que se obtuvieron no abarcan ningún elemento metálico tóxico y se consideran como buenos candidatos para usarse en la aplicación de recubrimientos de superficies como colorantes fríos.

Jian-Lei W., Yuan-Qing L., Young-Ji B. (2012) de la Escuela de ciencia de los materiales e ingeniería, universidad Shijiazhuang Tiedao, Shijiazhuang 050043, en el artículo de investigación, trataron el tema de "Síntesis y caracterización del nano pigmento amarillo $NiTiO_3$ con alta eficiencia de reflexión de la radiación solar".

El objetivo de este trabajo fue demostrar que las nanopartículas de $NiTiO_3$ tienen un gran potencial para servir como pigmento frío para el revestimiento de edificios. Las conclusiones de esta investigación indican que las nanopartículas de $NiTiO_3$ amarillas pueden servir como un excelente pigmento frío para la construcción de techos y recubrimiento de fachadas.

## 2.2. Bases teóricas

En los últimos años se ha notado y escuchado más sobre los materiales de ahorro de energía a medida que aumenta la demanda mundial de energía. Según el informe de "World Energy Outlook" de la Agencia Internacional de Energía, la demanda mundial de energía para 2030 podría aumentar un 55 por ciento, y potencialmente duplicarse para 2050. Las tensiones del suministro de energía son inevitables. (World Enery Outlook, 2010)

También existe otros dilemas, como el cambio climático, la crisis energética y los beneficios económicos que se enfocan en la gran importancia del ahorro de energía. Cambio climático: se sostiene que la emisión de efecto invernadero, procede del consumo excesivo de la energía fósil, y se vincula con el cambio climático. Los investigadores evalúan que dicho cambio climático contribuye a 150 000 muertes y 5 millones de enfermedades anualmente, según el informe de la OMS. El excesivo calor, la falta de alimento, la falta de agua dulce, y el aumento del nivel del mar son todos los

efectos del cambio climático. También, la contaminación ambiental amenaza la existencia de los seres humanos. (WHO World Health Report, 2002)

La crisis energética y recursos finitos: desde la revolución industrial, los combustibles fósiles se han utilizado de una manera excesiva durante muchos años. Los recursos limitados junto con el aumento continuo de la demanda de energía, nos ha llevado a una profunda crisis energética. Según lo informado por la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos en International Energy Outlook 2010, las reservas mundiales de petróleo probadas a partir del 1 de enero de 2010, se calcularon en 1354 billones de barriles. Siendo 80 millones de barriles, el consumo diario de petróleo de la economía global. (International Energy Outlook, 2010)

Como resultado, los investigadores de la energía pronostican que el petróleo solo puede durar 40 años y como máximo el carbón durará 200 años. Provocando que los científicos busquen y encuentren fuentes de energía alternativas que podrían reemplazar los combustibles fósiles.

Beneficios de la economía y ahorro de energía: Existen materiales de construcción que ahorran energía, como los de ventanas inteligentes y los materiales de revestimiento reflectante para techos, los cuales pueden impedir que la radiación solar ingrese a las habitaciones en verano y evitar una pérdida de calor en invierno por

la función de reflexión o absorción cerca del infrarrojo (NIR). Como resultado, el costo de calefacción y refrigeración se reducirán significativamente. Por otro lado, los materiales absorbentes NIR se pueden utilizar para convertir la radiación solar en energía térmica. Así se reducirá el consumo de gas natural o electricidad.

El ahorro de energía contribuirá beneficiosamente a las generaciones futuras con la reducción de emisiones de gases que ocasionen el efecto invernadero y disminuirá la contaminación ambiental. (Yu Xin C., 2011)

## 2.3. Radiación solar y transferencia de calor

### 2.3.1. Reflexión de rayos infrarrojos

Fue un experimento de Sir Frederick William Herschel el que se encaminó al hallazgo de los rayos infrarrojos, en el momento que hizo pasar la luz solar por un prisma. Herschel situó un termómetro de mercurio en el espectro hallado por un prisma de cristal con el fin de medir el calor que emite cada color. Y de esa manera descubrió que el calor era más fuerte del lado rojo del espectro y que allí no había luz. Y de esta forma demostró que el calor se transmite por una forma invisible de luz. Al inicio se denominó a esta radiación “rayos caloricos”, para después llamarse radiación infrarroja.

La radiación infrarroja es una clase de radiación térmica y electromagnética, de una mayor longitud de onda que la luz visible, como también menor a la de las microondas. El rango de longitudes de onda oscila entre los 0,7 hasta los 1000 micrómetros. El sol da la mayor parte de la luz infrarroja es emitida como radiación térmica desde objetos. La materia en sí emite radiación siempre y cuando que su temperatura sea mayor a los 0 grados Kelvin. De acuerdo con la Ley de Wien, "la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a la temperatura de éste". De esa forma, la mayoría de los objetos a temperaturas frecuentes tienen su máximo de emisión en el espectro infrarrojo. También emiten una gran radiación en la parte del espectro infrarrojo, los seres vivos, y sobre todo los mamíferos, por su calor corporal. (Herschel F. W., 2016).

Debido a que los rayos infrarrojos elevan la temperatura de los objetos y ambientes, entre ellos construcciones(containers), edificios y viviendas, se da el uso de lo que son las pinturas reflectantes.

### 2.3.2. Pintura reflectante

Son aquellas que reflejan la radiación solar y disipan el calor, su uso es en viviendas, edificios y otros, con el propósito de conservar una temperatura estable y condicionalmente menores en las mismas, y de esa manera mantener un ambiente fresco, de forma que se reduciría el consumo de energía al utilizar el aire

acondicionado, como también de mejorar la durabilidad de los materiales de construcción al impedir su degradación o envejecimiento a causa de la radiación solar, y a la vez reduce los daños ocasionados por las expansiones y contracciones térmicas, que son el resultado, primordialmente de la radiación infrarroja que es la más frecuente del espectro solar (Figura 1) , que se encarga de generar energía calorífica en un 50 %. (Alcántara P., 2014)

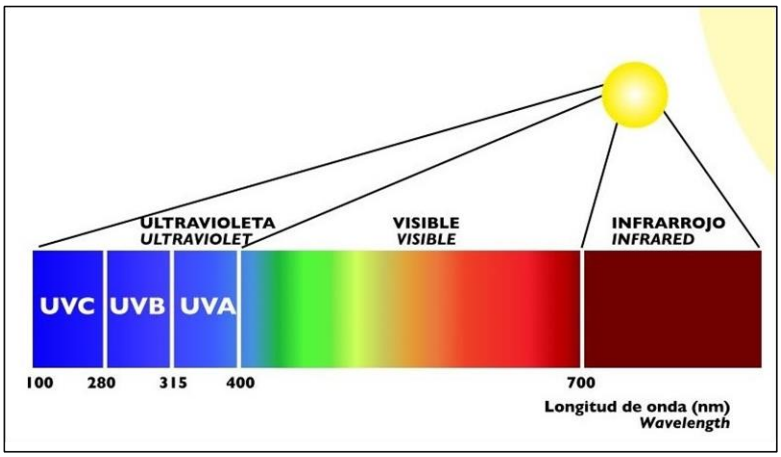



Figura 1. Espectro de la radiación solar
Fuente: Dancg L., 2017.

En la mayoría de las superficies exteriores de las construcciones del mundo son de colores oscuros. En horas de radiación pico la temperatura de la superficie de un techo de color puede subir hasta 323,15 K, alcanzando a temperaturas de 343,15 a 363,15 K. Esta elevación de calor afecta los edificios, containers, etc. y puede causar efectos negativos en la salud de las personas y un mayor consumo de

combustible para mantener la temperatura, una temperatura de confort. Haciendo el incremento de la potencia de los sistemas de refrigeración, ocasionando un consumo adicional de combustibles fósiles y por consiguiente un incremento en las facturas.

Por otro lado, los "techos frescos", como también se les conoce, ofrecen beneficios inmediatos y a largo plazo, tales como:

- ✓ Reduce la retención de calor, ya que un techo blanco normalmente aumenta de 278,15 – 287,15 K sobre la temperatura ambiente en el transcurso del día. Ahorros de hasta 15 % en la utilización de energía del aire acondicionado en construcciones de un solo piso.
- ✓ Mejoramiento en la eficiencia energética de los techos en los edificios, viviendas y construcciones(containers), además que cuando no hay un aislamiento adecuado en los cerramientos.
- ✓ Brinda un mejor confort térmico en los edificios, viviendas y construcciones que no tienen aire acondicionado.
- ✓ Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y demás contaminantes del aire, así como una significativa compensación de los efectos de calentamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las superficies blancas logran reflejar más de la mitad de la radiación que llega a ellos.

Si todos los techos planos y urbanos que están ubicados en zonas de clima caliente fueran blancos, el aumento de 10 % de la reflectividad global compensaría el efecto de calentamiento de 24 giga toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que sería dejar sin circulación a 300 millones de vehículos de las carreteras durante 20 años. Este hecho se basa en que un techo blanco de 1000 pies cuadrados (93 $m^2$) compensa 10 toneladas de dióxido de carbono durante sus 20 años de vida útil.

Y todo esto se basa en un trabajo verídico de estudio de gran escala de enfriamiento de una mayor reflectividad.

Un estudio realizado en el 2012, por investigadores de la Universidad de Concordia tuvo resultados de igual similitud a que se empleó en el estudio anterior y se dio como resultado que la instalación global de pavimentos frescos y techos en las ciudades, produciría un efecto de enfriamiento global que equivaldría a compensar hasta 150 giga toneladas de emisiones de dióxido de carbono, que es más que suficiente para tener todos los vehículos del mundo, fuera de las calles durante 50 años.

**Ventajas**

El uso de pinturas reflectantes aporta un revestimiento de aislamiento térmico de alto rendimiento.

Este tipo de aplicaciones para techos frescos cumplen por disminuir la transferencia de calor del exterior al interior de las construcciones (containers) y hacen más cómodas las oficinas, viviendas, los pisos, etc., al conservar estas estructuras frescas en verano.

Las pinturas reflectantes pueden impedir que más del 85 % de la radiación solar sea reflejada en la estructura, dándonos así una protección contra el choque térmico, prolongando la vida útil de las construcciones (containers), edificios, etc.

Hace una conservación de energía que es beneficioso en la reducción de costos: En el sol radiante, las pinturas reflectantes brindan un efecto enfriador que es necesario.

A diferencia de otras formas y maneras convencionales, las pinturas reflectantes no solo disminuyen la tasa de transferencia calórica, sino que la detienen por completo.

Finalmente, gracias al uso de pinturas reflectantes, el costo de operación del aire acondicionado baja significativamente, reduciendo el consumo de electricidad y el combustible.

**Menores costos**

Una superficie recubierta con pinturas reflectantes no requiere mantenimiento. Haciendo que los costos se reduzcan de forma significativa, ya que no hay necesidad de un tratamiento anticorrosivo y/o impermeabilizar.

Por otro lado, no habría la necesidad de la mano de obra para la realización de mantenimientos regulares, eliminando por completo su costo. Puesto que las pinturas reflectantes también aumentan la vida de los techos revestidos, como también no hay necesidad de remodelar varias veces una superficie recubierta. Por consiguiente, las pinturas reflectantes ofrecen una reducción global de los costos de mantenimiento. (Latin Press, 2014)

Los pigmentos inorgánicos se utilizan considerablemente como materiales fríos para la construcción de fachadas y techos. Como por ejemplo, el $TiO_2$ es un pigmento de color blanco con una alta reflectancia solar de un 87 % aproximadamente, y en la actualidad se considera como el mejor pigmento para materiales de recubrimiento.

Por otro lado, los pigmentos no blancos por frecuencia son preferidos por razones estéticas, y pueden servir como una solución de control del deslumbramiento y así evitar la "plaga blanca". La formulación con pigmentos de óxidos de metales mixtos o pigmentos coloreados inorgánicos complejos es la

tecnología de mayor importancia en la producción de materiales fríos no blancos. El conjunto especial de pigmentos no convencionales se conoce por su alta reflectancia en la radiación infrarroja cercana (NIR) y su opacidad altamente visible, que ha sido considerablemente utilizada en el recubrimiento de camuflaje por ejércitos con la finalidad de prevenir la detección de objetos. A causa de una reflectancia solar media alta, en la actualidad, se han utilizado como materiales de revestimiento fríos para la construcción de fachadas y techos.

El procedimiento normal de síntesis de pigmentos inorgánicos incluye la reacción en estado sólido de precursores de óxido seguidos de la pulverización. El método de estado sólido necesita una alta temperatura de sinterización y frecuentemente encamina a una baja homogeneidad de la composición. También, el tamaño de partícula de los pigmentos conseguidos con el procedimiento tradicional normalmente está en el rango de varias decenas de micras. En la actualidad, una investigación reveló que los pigmentos nanocristalinos tienen mejores propiedades de enfriamiento por radiación térmica en comparación con los pigmentos macrocristalinos y una mejor reflectancia solar (por lo general un 15 - 20 % más). Por otro lado, solo se han informado algunas investigaciones sobre la preparación de pigmentos de color frío con tamaño de partícula a escala nanométrica. (Jian-Lei W., Yuan-Qing L., Young-Ji B., 2012)

En este trabajo se han empleado nanopartículas o nanopigmentos inorgánicos de Titanato de Níquel ($NiTiO_3$) sintetizados por el método sol gel, el cual luego de haber realizado la caracterización respectiva se pudo determinar su tamaño nanométrico, mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica. Posteriormente el $NiTiO_3$ se ha empleado como relleno de una pintura blanca común en distintas cantidades y estudiado con respecto a las propiedades reflectivas de la radiación solar en el rango infrarrojo.

Esta tesis se centra en el estudio de los materiales reflectantes NIR que bloquean la transmisión de la luz NIR que vienen de la radiación solar o la transferencia de calor.

Existen tres modos de transferencia de calor:

- ✓ La conducción es un proceso de transferencia de calor que se da por medio de superficies de material con distintas temperaturas, en el momento que los electrones se mueven de un átomo a otro o cuando los átomos próximos vibran entre sí. La conducción es el medio más considerable de la transferencia de calor dentro de un sólido o entre objetos sólidos en contacto térmico.
- ✓ La convección es un proceso de transferencia de calor que se da en líquido o gas a través de la advección y difusión, en los movimientos de fluidos.

La convección como la conducción son impulsadas por las diferencias de temperatura y la transferencia de calor requiere un medio. Se pueden reducir con el uso de materiales de aislamiento térmico con baja conductividad térmica.

- ✓ La radiación es la energía emitida a través de las ondas electromagnéticas. La magnitud de la energía transferida por radiación es una función de la temperatura a la cuarta potencia, la geometría y la emisividad. La emisividad (ε) de un material es una capacidad relativa de su superficie para emitir energía a través de la radiación.

En la Figura 2 se ilustra los espectros de radiación solar basados en los espectros de referencia terrestre ASTM. A medida que la luz del sol pasa a través de la atmósfera, algunas longitudes de onda son absorbidos por los gases. La energía solar se distribuye desde UV (por debajo de 400 nm, 4,6 %) a visible (400 – 750 nm, 43,4 %) y región de NIR (750 – 2500 nm, 52 %). Los espectros también son estándares tomados por la industria fotovoltaica para cerfiticar condiciones de prueba consistentes. (Yu Xin C., 2011)

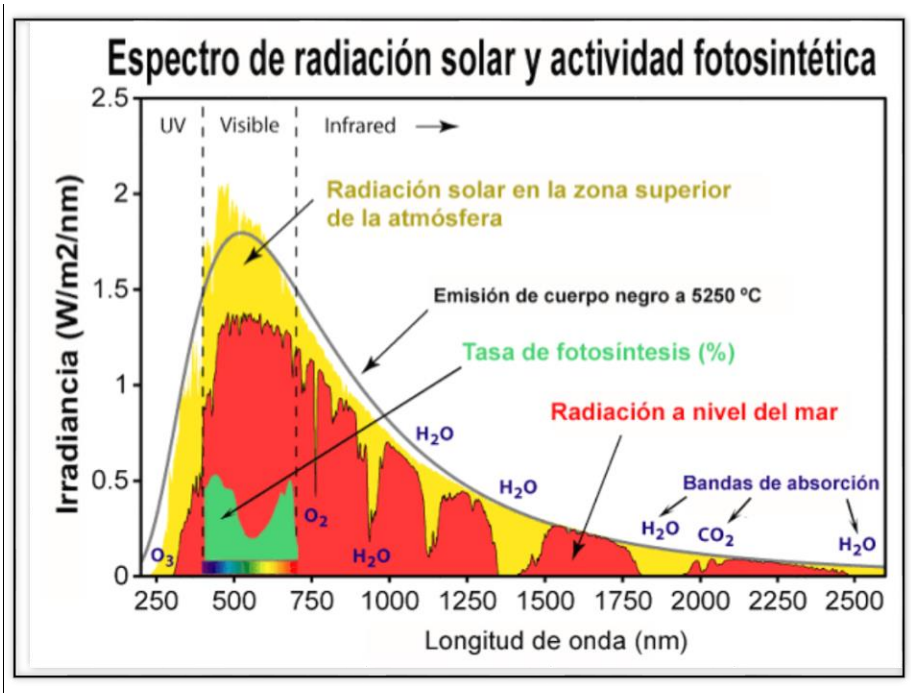



Figura 2. Espectros de radiación solar y actividad fotosintética
Fuente: Yu Xin C., 2011.

En el momento que la luz choca en la superficie de un objeto, se reflejará, absorberá o transmitirá como se muestra en la Figura 3. El proceso de dispersión es como una forma especial de reflexión en el caso de superficie no lisa, y se incorpora en la reflexión. La absorción de luz se muestra en el incremento de energía de un objeto. En el caso de materiales no luminiscentes, la luz absorbida se convertirá especialmente en calor, lo que provocará un aumento en la temperatura.

La absorción de luz NIR es la fuente primordial de ganancia de calor de un objeto, debido a que el NIR totaliza el 52 % de la energía solar disponible.

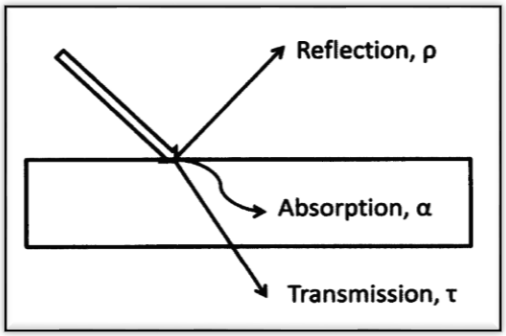



Figura 3. Propagación de la luz a través de la interfaz
Fuente: Yu Xin C., 2011.

La suma de energía de tres componentes es igual a la luz incidente. La ecuación da a conocer la relación entre la reflectancia (ρ), la absorbancia (α) y la transmitancia (τ) viene siendo:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \qquad [1]$$

En el momento que la superficie del objeto es opaca, la transmitancia (τ) es cero. Reduciendo la ecuación a $\rho + \alpha = 1$. Los materiales con alta reflectancia deben tener una absorbancia baja y/o transmitancia.

### 2.3.3. Principios de ahorro energético por materiales reflectantes y absorbentes de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR).

#### 2.3.3.1. Ahorro energético por materiales reflectantes de NIR

Los materiales reflectantes de NIR se encargan de reflejar la radiación térmica y evitan que se absorba o transmita. Haciendo el bloqueo de la transferencia de calor por la radiación. En la Figura 4 se observa cómo el recubrimiento reflectante de NIR, específicamente el recubrimiento de baja emisión, evitando la transmisión de NIR. En el momento que la luz del sol choca en la ventana, la luz visible se transmite con poca reflexión. La luz de NIR se refleja esencialmente hacia el exterior. Reduciendo la carga de enfriamiento del interior, sin la pérdida de luz visible. El recubrimiento reflectante del techo funciona de igual forma que un recubrimiento de baja emisividad, exceptuando la transmisión de luz visible.

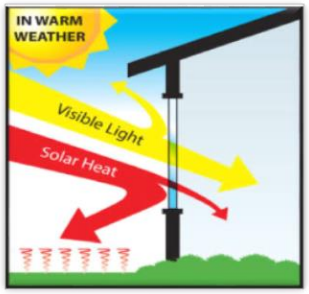



Figura 4. Cristal reflectante de NIR
(recubrimiento de baja emisividad)
Fuente: Yu Xin C., 2011.

#### 2.3.3.2. Ahorro de energía mediante materiales absorbentes de NIR

Funcionan como un material que ahorra energía de dos maneras. La más importante es convertir la porción de NIR de la luz solar en energía eléctrica o térmica. Su aplicación más sobresaliente de los materiales absorbentes de NIR es su uso para la conversión de energía solar térmica. La luz NIR comprende el 52 % de la energía solar disponible. Es por eso que el uso de materiales absorbentes de NIR ayudará la eficiencia de la conversión de energía solar-térmica de los colectores solares.

Sobre todo, cuando la luz del sol atraviesa las nubes. Es en esa situación, la mayoría de la luz disponible es luz de NIR, que puede ser recolectada por paneles de colectores solares. En el campo de la energía fotovoltaica, los materiales en la actualidad se enfocan en la luz visible.

### 2.3.4. Revisión de materiales reflectantes de NIR

Los materiales reflectantes de NIR se dividen en cuatro categorías: metales de transición, compuestos orgánicos e inorgánicos y sustancias naturales.

#### 2.3.4.1. Metales de transición

Son los materiales con más reflectancia en NIR con distintas profundidades de capaz y absorción en la región visible. En la Figura 5 se resume la reflectancia del cobre, titanio, oro, rodio, plata y aluminio. El

aluminio refleja un amplio rango de UV a NIR con una absorción a 820 nm La plata con la mayor reflectividad desde 400 nm hasta 10 μm. Los comportamientos reflectivos del oro y el cobre son similares entre sí con una diferente absorción en la región visible. La plata es el metal más usado en los recubrimientos reflectantes de baja emisión NIR multicapa. Para disminuir el brillo metálico, la capa de plata está intercalada por óxidos metálicos con un elevado índice de refracción, como se ve en la Tabla 3. La plata y el aluminio también se utilizan como material reflectante IR en forma de escamas en el revestimiento reflectante de NIR. Aunque también el oro posee una alta reflectividad y es antioxidante, no se usa debido a su alto costo.

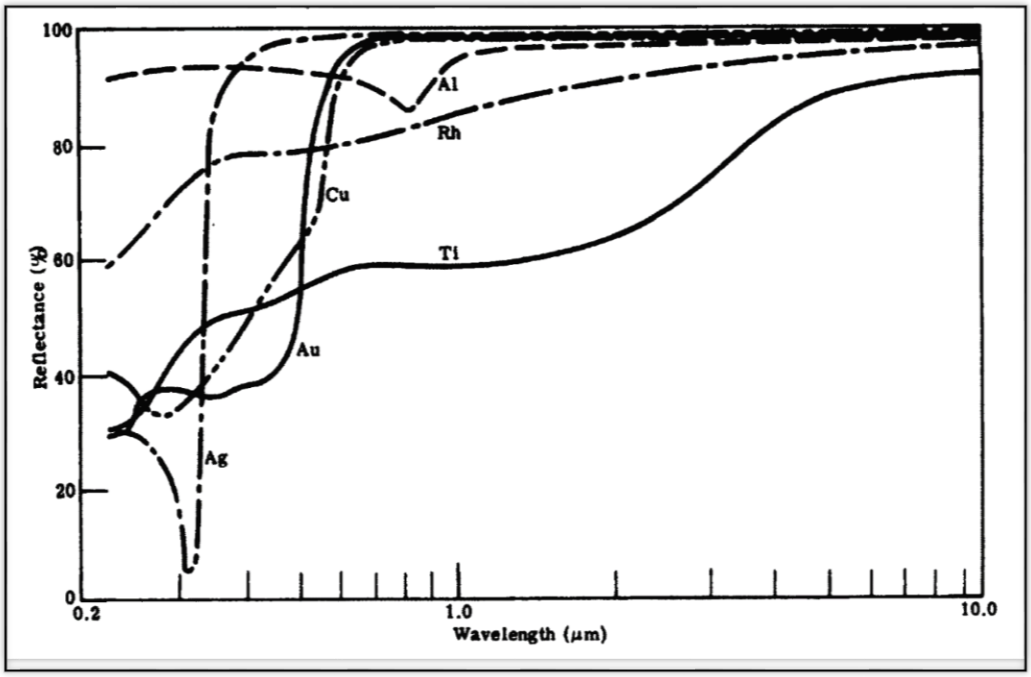



Figura 5. Reflectancia de los metales
Fuente: Yu Xin C., 2011.

**Tabla 3**

*Recubrimiento multicapa de baja emisividad.*

| Óxidos metálicos ($SnO_x$) |
|---|
| Ag |
| Óxidos metálicos ($SnO_x$) |
| Ag |
| Óxidos metálicos ($SnO_x$) |
| Sustrato (Vidrio) |

Fuente: Yu Xin C., 2011.

La baja emisividad en la región de NIR también es de suma importancia en los problemas de transferencia de calor por radiación. Con la finalidad de minimizar la pérdida de calor por radiación o el calentamiento radiante, es imprescindible una baja emisividad. La plata o el oro son los mejores materiales en términos de emisividad infrarroja. Las constantes ópticas de aluminio, oro y plata se han utilizado para calcular la emisividad a 6 y 10 μm en longitud de onda (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Reflectividad y emisividad espectral normal calculada en 6 y 10 μm para aluminio, oro y plata.*

| Metal | 6μm | | 10μm | |
|---|---|---|---|---|
| | n-*ik* | Emisividad | n-*ik* | Emisividad |
| Aluminio | 10,8-*i*48,56 | 0,0221 | 26,0-*i*67,3 | 0,0198 |
| Oro | 4,7-*i*35,2 | 0,0148 | 11,5-*i*67,3 | 0,00976 |
| Plata | 4,15-*i*42,6 | 0,0090 | 10,69-*i*69,0 | 0,00873 |

Fuente: Yu Xin C., 2011.

Los metales de transición, al ser materiales reflectantes de NIR, se usan en forma de escamas o películas delgadas. El método de preparación de película delgada puede ser a deposición física de vapor.

### 2.3.4.2. Materiales inorgánicos reflectantes de NIR

Son especialmente sulfuros y óxidos metálicos. En la actualidad, se utilizan especialmente como pigmentos en el revestimiento reflectante de NIR para edificios comerciales y residenciales. Además, pueden usarse como camuflaje visual / IR debido a que estos óxidos metálicos por lo general absorben algunas bandas en la región visible. Los óxidos / sulfuros metálicos más usados son dopados con $TiO_2$, $CrO_3$, $Fe_2O_3$, $MnO_x$ y CdS. De todos estos pigmentos, los titanatos dopados con rutilo son la opción más popular debido a que no son tóxicos. Existen otros pigmentos reflectantes IR disponibles en el mercado con diferentes colores visibles se muestran en la Figura 6 y 7.

Klabunde y sus colegas estudiaron la reflectancia de NIR de las nanopartículas de óxidos metálicos. En su investigación encontraron que los óxidos metálicos nanocristalinos tienen una mayor reflectancia de NIR de ~15-20 % y atribuyeron el aumento de la reflectancia a tamaños más pequeños de cristalitos junto con tamaños añadidos medios más pequeños. En la Tabla 6 se enumera algunos óxidos metálicos con la reflectancia de dependencia del tamaño. (Jeevanandam, P., Mulukutla, R. S., Klabunde, K. J. J., 2007)

La gran parte de los óxidos metálicos se usan como materiales de pintura reflectante de NIR en forma de polvo fino. Debido a que la preparación de óxidos metálicos en polvo es económicamente factible a escala industrial.

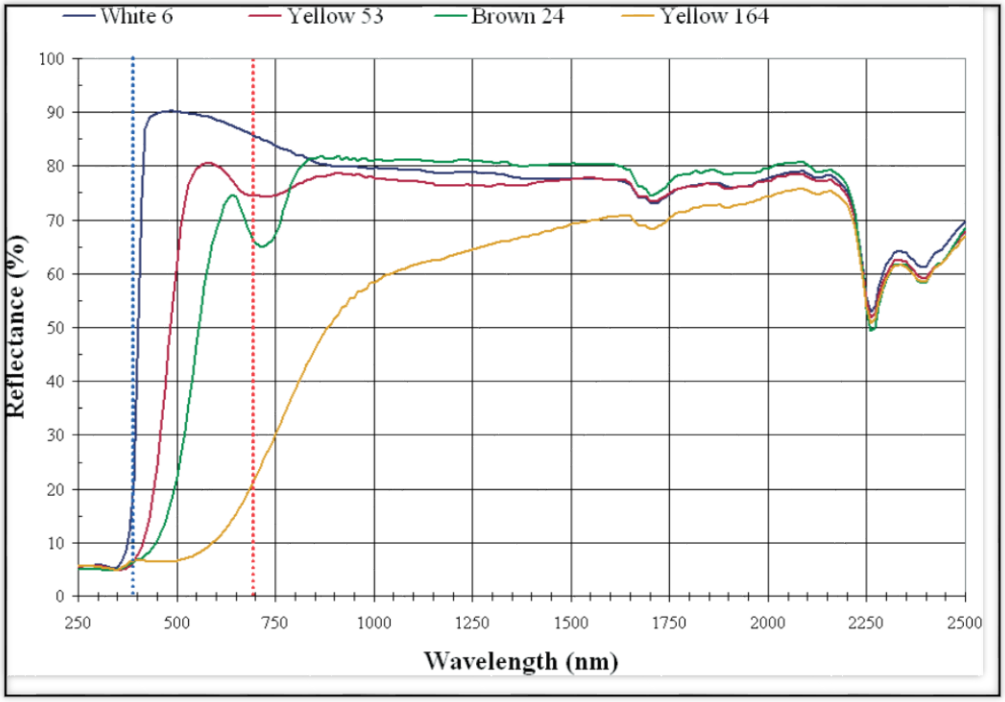



Figura 6. Reflectancia de los pigmentos de óxidos metálicos, la reflectancia se comparó con el rutilo comercial $TiO_2$.

Fuente: Detrie, T.; Swiler, D., 2009.

**Tabla 5**

*Reflectancia de los pigmentos de óxidos metálicos, la reflectancia se comparó con el rutilo comercial $TiO_2$.*

| Pigmento | Cl número | Químico |
|---|---|---|
| Rutilo sin dopar | Blanco 6 | $TiO_2$ |
| V9415 | Amarillo 53 | (Ti, Ni, Sb) $O_2$ |
| 10411 | Marrón 24 | (Ti, Cr, Sb) $O_2$ |
| 10550 | Amarillo 164 | (Ti, Mn, Sb) $O_2$ |

Fuente: Detrie, T.; Swiler, D. (2009)




Figura 7. Muestras de óxidos metálicos con diferentes colores, ref. Solar: relación de la radiación solar reflejada desde un material a la cantidad de brillo en el material incluyéndose la luz visible.
Fuente: Bendiganavale, A. K.; Malshe, V. C., 2008.

**Tabla 6**

*Propiedades de reflectancia de NIR de óxidos metálicos nanocristalinos y óxidos metálicos macrocristalinos.*

| óxidos metálicos | R % a 810 nm | Tamaño medio de las partículas agregadas (μm) | Tamaño promedio del cristalito (nm) | Área de superficie ($m^2/g$) |
|---|---|---|---|---|
| NC-$Ce0_2$ | 110 | 61,6 | ≤7 | ≥50 |
| MC-$Ce0_2$ | 92 | 95 | 55 | 6 |
| NC-$Al_2O_3$ | 102 | 1,4 | amorfo | ≥275 |
| MC-$Al_2O_3$ | 92 | 2,6 | 70 | 68 |
| NC-$Ti0_2$ | 108 | 14,5 | amorfo | ≥500 |
| MC-$Ti0_2$ | 98 | 16,4 | 79 | 8 |
| NC-MgO-I | 109 | 4,2 | 8 | ≥230 |
| NC-MgO-II | 105 | 7,8 | ≤4 | ≥600 |
| MC-MgO | 103 | 2,4 | 23 | 45 |

Fuente: Yu Xin C. (2011).
NC: nanocristalino; MC: macrocristalino.
R %: la reflectividad relativa se calculó en comparación con los materiales a granel.

El óxido dopado de alto intervalo de banda dopada es otro material reflectante de NIR inorgánico, como el antimonio, el óxido de estaño indio o el óxido de estaño dopado con flúor. El espacio entre bandas de estos materiales es lo suficientemente grande (aproximadamente 3 eV) para que a la luz visible sean transparentes. Podrían utilizarse como espejos de calor transparentes, ya que refleja la luz con un rango de longitud de onda superior a 1300 nm

Otro de los materiales de interés en este tipo de aplicaciones es el $TiO_2$

$TIO_2$ PIGMENTO DE PINTURA INFRARROJA REFLECTANTE

- EFECTO TAMAÑO

En la actualidad, las propiedades ópticas de los materiales nanocristalinos han sido de gran importancia, debido a que poseen interesantes propiedades ópticas.

Tales como una mayor intensidad de la fluorescencia y un aumento de la banda. Uno de los materiales son las nanopartículas de óxido metálico que exhiben propiedades químicas diferentes en comparación con los macrocristales y se pueden preparar en formas únicas. Su tamaño de partícula

de un el óxido metálico puede afectar su color, como también afectaría sus propiedades de reflectancia.

También las nanopartículas de óxido metálico poseen altas áreas de superficie haciéndolas útiles para variedades de aplicaciones como los recubrimientos.

Los óxidos naturales de titanio a presión atmosférica poseen tres fases: Brookita Anatase y rutilo.

La fase de rutilo es la más estable, termodinámicamente y tiene la más alta densidad con una estructura atómica compacta. En la fase de rutilo el $TiO_2$ se utiliza como pigmento reflectante en recubrimientos reflectantes debido a sus propiedades de dispersión. Inclusive una pequeña cantidad de partículas de $TiO_2$ en recubrimientos, reflejaría casi todo el espectro visible, y se han aplicado en productos ópticos comerciales tales como: esferas de integración, luminarias, fibras ópticas, escintiladores, espejos de cavidad láser y paneles reflectantes.

Aproximadamente 0,1 μm de partículas de $TiO_2$ a granel, se usan como pigmentos reflectantes. Su preparación es triturando los minerales para después obtener pequeños gránulos. En la actualidad estos materiales se usan como pigmentos.

Estos materiales de pigmento que contienen nanopartículas son de gran ayuda para varios recubrimientos, incluyendo la protección UV, resistencia al rayado y propiedad antibacteriana. Las nanopartículas de $TiO_2$ tienen alto potencial para pigmentos reflectantes a diferencia del granel.

La fase de rutilo de $TiO_2$ en los pigmentos blancos, tiene el índice de refracción más alto en lo visible (2,7) y, por consecuencia, tiene la potencia de dispersión de luz visible más fuerte, alrededor de 0,2 μm. El rutilo de $TiO_2$ es un semiconductor de banda directa y debido a eso tiene una transición muy abrupta de absorción baja a absorción alta al límite entre las regiones visible y UV, que ocurre a 400 nm

Se sabe que la brecha de banda de un semiconductor disminuye a medida que para $TiO_2$ aumenta el tamaño del cristalito.

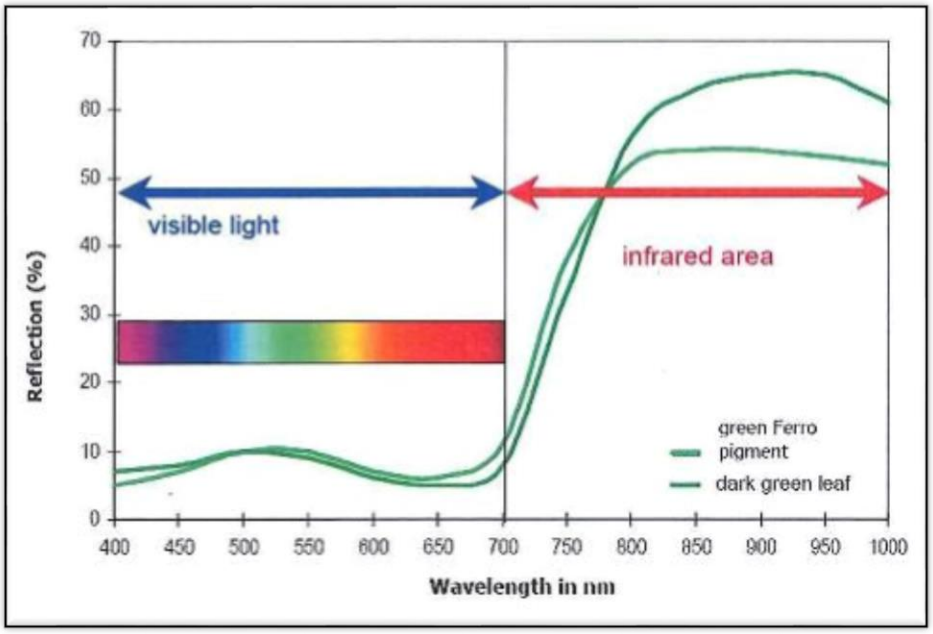



Figura 8. Reflectividad del pigmento ferro verde en comparación con una curva de clorofila. El pigmento verde ferro muestra una reflectividad mejorada del 50 % en el rango NIR.
Fuente: Fang, V.; Kenedy, J.; Futter, J., 2013.

El tamaño de partícula óptima de $TiO_2$ para generar un recubrimiento con una temperatura moderada, se descubrió que el brillo era de 0,8 μm con brillo al 60,8 % y una temperatura de 333,15 K. Cuando el $TiO_2$ cambia de 0,2 μm a 0,8 μm, la reflectividad de luz visible disminuye a un 25 %, sin embargo, la reflectividad de NIR aumenta en un 14 %. (M. Baneshi, S. Maruyama, A. komiya., 2012)

Las partículas dispersas de $TiO_2$ tienen un tamaño de 1/3 - 1/2 de la longitud de onda del incidente de la radiación que se va a reflejar, sin embargo,

su adición puede cambiar el color, como un color negro convertirlo a un color gris. Varias empresas como Shepherd Color y Ferro han formulado y patentado unos pigmentos reflectantes infrarrojos específicos (los pigmentos oscuros como el carbono).

Los pigmentos negros tienen un 6 % de reflectancia solar. Pero después de mezclar con óxidos metálicos como por ejemplo el $TiO_2$, alcanzan un 25 – 30 % de reflectancia solar total. En la Figura 8 se observa el pigmento verde de Ferro con una mejor reflectividad en el rango de infrarrojos.

También en algunos pigmentos reflectantes de IR (disponibles en Ferro Corporation) se incorporaron a un acabado comercial de repintado de automóviles. Se agregaron pigmentos a la capa base a una concentración total de 22 % en peso de la película seca, en el IR reflectante amarillo, negro y marrón. También otros pigmentos, como el $TiO_2$, se añadieron a una concentración del 22 % en peso de la película seca. El sistema de aglomeración termoplástico-polímero consistía en copolímeros acrílicos y acetato butirato de celulosa. Mediante técnicas de pulverización estándar, estos recubrimientos se realizaron en un taller de carrocería comercial. Su base de control contenía pigmentos como carbono negro, óxido de acero A36 y $TiO_2$. El color visual fue el mismo que el de la capa base experimental, los

sistemas de encuadernación al igual que las composiciones de las capas transparentes en ambos casos. Se hicieron pruebas en un laboratorio con una lámpara y arrojaron 282,15 – 283,15 K a diferencia de temperatura entre recubrimientos experimentales y de control, del panel de equilibrio, las medidas de absorción solar, los recubrimientos reflectantes y de control solar son 82 % y 89 %, respectivamente. (J. P. Rugh, 2007)

- DESAFÍOS PARA LA PINTURA REFLECTANTE $TIO_2$

El $TiO_2$ se usa generalmente para el pigmento reflectante "blanco". Como también se han formulado otro tipo de colores en la misma base de cloruro de polivinilo incorporando $TiO_2$ y también pigmentos de pintura reflectante de NIR de color negro para producir un recubrimiento oscuro. Los investigadores Brady y Wake descubrieron que un color oscuro no es necesariamente oscuro en el infrarrojo, (R. F. Brady, L. V. Wake, 1992) descubrieron que, si se combinan colorantes como el amarillo y rojo con 10 μm de partículas de $TiO_2$, se podrían usar óxidos de acero A36, paliógeno negro y ftalocianina azul para formular colores oscuros con reflectancia de NIR de 0,3 y superiores.

El estudio de la reflectancia del $TiO_2$ tuvo muchas investigaciones debido a que sus aplicaciones resultan muy buenas para la fotoestabilidad y reflectancia. En la actualidad, se ha visto que las nanopartículas de fase rutilo poseen una mayor absorción en la región visible a diferencia de la fase anatasa. El dopaje de $TiO_2$ con elementos de K, Li y Al se usan para mejorar la reflectancia de partículas de $TiO_2$, creando imperfecciones en su red cristalina e introduciendo trampas para agujeros y electrones, evitando que migren hacia la superficie de $TiO_2$. El efecto de dopaje de Al sobre las nanopartículas de $TiO_2$, sintetizadas usando el Método sol-gel, ha sido investigado, demostrando que la fase temperatura de transición para la fase anatasa a la fase de rutilo aumenta, pero no hubo cambios en su morfología.

Las nanopartículas de $TiO_2$ dopadas con 0,1 % de Al se puede observar una alta fotoestabilidad sin modificaciones en su reflectancia. Su recubrimiento ha sido aplicado sobre un sustrato plástico con varios tipos de espesores de recubrimiento para crear reflectores de luz.

Dichos reflectores poseen una reflectancia difusa de 98,17 % - 98,29 % para 0,25 mm de revestimientos gruesos. (S. Kumar, N. K. Verma, M. L. Singla, 2013)

En la actualidad se ve una mejora de la reflectancia en el rango de NIR para el $TiO_2$ dopado. Se sintetizó utilizando diferentes técnicas adaptadas de las películas de $TiO_2$ dopadas con niobio (Nb) (A. Ranade, 2011).

Otros elementos como el bismuto, antimonio y el vanadio son otros candidatos como se observa en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Propiedades de varios elementos del grupo V.*

| Elemento | Radio iónico (Å) | Calor de vaporización (kJ / mol) |
|---|---|---|
| Niobio | 0,70 | 690 |
| Vanadio | 0,59 | 453 |
| Fósforo | 0,34 | 12,4 |
| Arsénico | 0,47 | 32,4 |
| Antimonio | 0,62 | 68 |
| Bismuto | 0,74 | 160 |

Fuente: A. Ranade., 2011.

✓ OTROS TIPOS DE PIGMENTO REFLECTANTE INFRARROJO

- OXIDO DE ZINC

Tiene una gran importancia la aplicación de ZnO como pigmento en la industria de la pintura. El ZnO es un polvo blanco de fabricación directa de estructuras específicas con morfología cristalina controlada.

Investigaciones han revelado que las propiedades ópticas de los polvos de ZnO eran afectados por la morfología y el tamaño de partícula. Teniendo un pigmento nanoestructurado optimizado, se puede obtener una buena mejora en la eficiencia de dispersión del pigmento ZnO (N. Kiomarsipour, R. S. Razavi, K. Ghani, 2013).

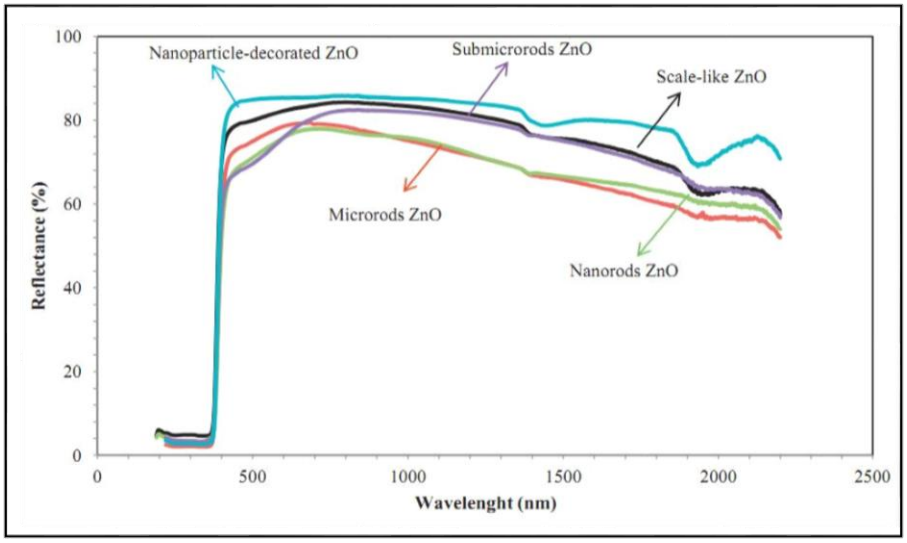



Figura 9. Espectros de reflectancia UV/VIS/NIR incluidos especularmente experimentales de pigmentos de ZnO sintetizados.
Fuente: N. Kiomarsipour, R. S. Razavi, K. Ghani, 2013.

Cuando se recubren con aluminato de zinc a las nanopartículas de óxido de zinc tienen un mayor efecto reflectante, a diferencia de los materiales que no están recubiertos. En la región 400 – 800 nm, las nanopartículas recubiertas tienen un 10 % más de reflectancia a diferencia a las que no están recubiertas (F. Yuan, P. Hu, C. Yin).

En la Figura 9 se observa el pigmento ZnO con morfología optimizada. Logra alcanzar una máxima reflectancia solar difusa. Los resultados mostraron que las propiedades ópticas de los polvos de ZnO han sido muy afectadas por la morfología y el tamaño de las partículas. Usando un optimizado pigmento decorado con nanopartículas, se obtiene un buen mejoramiento en la eficiencia de dispersión del pigmento ZnO.

- OTRO TIPO DE ÓXIDOS METÁLICOS COMO ADITIVOS DE NIR

Uno de los más transparentes es el estannato de cadmio ($Cd_2$•$SnO_4$), que refleja el calor semiconductor. $SnO_2$, CuCl y CdO su mezcla debe ser correcta para crear un producto de mezcla homogénea y calentarse en un crisol de alúmina en un tiempo de 6 h a 1323,15 K. En una placa de sílice, películas de cadmio estannado, reflejan la luz infrarroja a 1,5 micrones de espesor de película. Dichas películas proporcionan un 80 % de reflectancia a 2 micrones

de espesor de película y también a un 90 % de reflectancia a 6 micrones espesor. Estas propiedades demuestran que las películas de estannato de cadmio sean perfectas en aplicaciones para ventanas de invernaderos.

También el uso de pigmentos metálicos coloreados como las escamas de mica y el aluminio para tener una buena reflectividad infrarroja, se describe en la patente estadounidense US6468647 (C. R. Sutter, R. A. Petelinkar, R. E. Reeves). En donde el color ha sido añadido en las superficies metálicas, de esa forma no interferiría con la capacidad de controlar la reflectividad infrarroja de los pigmentos metálicos. La mayoría de pigmentos que hay en el mercado comercial tienen pulido en superficies metálicas para tener una superficie modificada, teniendo buena reflectividad infrarroja y conservando el color del pigmento.

Entre otros materiales que poseen altos índices de refracción son ZnS, $ZrO_2$, $Fe_2O_3$, $Cr_2O_3$ y $Sb_2O_3$. Son recomendables para conseguir una alta reflectancia en un amplio rango espectral.

**$NiTiO_3$**

En la familia de titanatos, el titanato de níquel ($NiTiO_3$) tiene una amplia gama de aplicaciones, especialmente como fotocatalizador, semiconductor, rectificador, semiconductor, superconductor de alta temperatura y sensor de gas.

Es típicamente un material semiconductor de tipo n que cristaliza en la estructura del tipo ilmenita.

Recientemente el $NiTiO_3$ atrajo mucha atención por su alta actividad fotocatalitica bajo irradiación UV y sobretodo bajo la luz visible, es la única fase ternaria con la fase ilmenita en los materiales basados en $NiO\text{-}TiO_2$.

Además, el $NiTiO_3$ cumple con todas las condiciones:

- Factor de tolerancia
- Diferencia de electronegatividad
- Factor octaédrico

Para adoptar una estructura de ilmenita estable.

Por lo tanto, contribuyen a una amplia gama de aplicaciones para este compuesto (fotocatalizador, semiconductor, rectificador, semiconductor, superconductor de alta temperatura y sensor de gas). Sin embargo, las aplicaciones ya mencionadas, dependen del método de síntesis.

En la actualidad se han desarrollado diferentes métodos para la obtención del $NiTiO_3$, tales como pirolisis de polímero, recubrimiento por inmersión, sol-gel, gel de ácido esteárico, co-precipitación, auto combustión, métodos de estado sólido (síntesis de sal fundida), y deposición de vapor químico asistido por aerosol.

(Babu B., Edely M., Szade J., 2015)

El $NiTiO_3$ presenta comportamiento antiferromagnético y su valor de brecha de energía es de ~2.2 eV. Es un pigmento tradicional de color amarillo.

Las propiedades cristalográficas del material en estudio son las siguientes:

| | | |
|---|---|---|
| Código de referencia | : | 01-076-0334 |
| Nombre compuesto | : | Óxido de titanio níquel |
| Nombre ICSD | : | Óxido de titanio y níquel |
| Fórmula empírica | : | $NiO_3Ti$ |
| Fórmula química | : | $NiTiO_3$ |

Siendo los parámetros cristalográficos en el $NiTiO_3$:

| | | |
|---|---|---|
| Sistema cristalino | : | romboédrico. |
| Grupo espacial | : | R-3 |
| Número de grupo espacial | : | 148 |
| a (Å) | : | 5,0274 |

| | | |
|---|---|---|
| b (Å) | : | 5,0274 |
| c (Å) | : | 13,7830 |
| Alfa (°) | : | 90,0000 |
| Beta (°) | : | 90,0000 |
| Gamma (°) | : | 120,0000 |
| Densidad calculada (g / $cm^3$) | : | 5,11 |
| Volumen de celda ($10^6$ $pm^3$) | : | 301,69 |

En la estructura de $NiTiO_3$ (Figura 10), ambos átomos de Ni y Ti prefieren la coordinación octaédrica con capas de cationes alternadas ocupadas solo por átomos de Ni y Ti, lo que le da una buena estabilidad.

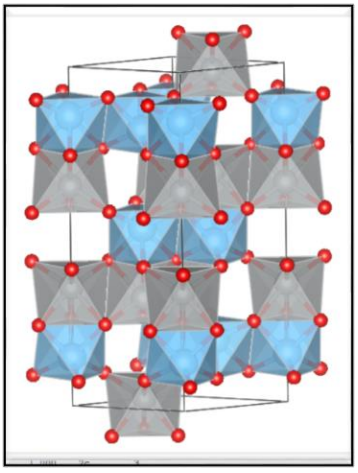


Figura 10. Estructura del $NiTiO_3$
Fuente: Ohgaki M., Tanaka K., Marumo F., Takei H., 1988.

**Absorción y reflexión del $NiTiO_3$**

En los últimos años, cuantiosos pigmentos inorgánicos se han utilizado considerablemente como materiales fríos para la construcción de techos y fachadas.

El $TiO_2$ por ejemplo, que es un pigmento de color blanco con una alta reflectancia solar de alrededor del 87 %, y es considerado como el mejor pigmento para los materiales de recubrimiento. Sin embargo, su aplicación está restringida debido a que causa fácilmente "contaminación blanca".

También hay un interés por desarrollar nuevos ambientes amigables y sostenibles de pigmento "coloreado" sin que haya elementos tóxicos como Sb, Hg, Pb, Cd, Cr y As. Hasta la actualidad, se ha puesto mucha atención en especial al $NiTiO_3$ de tipo perovskita, un pigmento tradicional de color amarillo.

Como también en su fase de ilmenita, el espectro de absorción de luz de $NiTiO_3$ presenta una amplia e intensa banda de absorción en la región UV de ~200 a ~400 nm aproximadamente. (Tong Y., Fu J., Chen Z., (2016))

Para poder entender el comportamiento óptico del $NiTiO_3$ y de la pintura con nanopartículas de $NiTiO_3$ se ha investigado sus propiedades ópticas mediante espectroscopia UV-Visible con una cámara de reflexión difusa.

Estudios de reflectancia difusa del $NiTiO_3$ muestran que este material es capaz de reflejar distintas longitudes de onda como se muestran en la Fig. 11. Muestras sintetizadas a 773,15 K (10 h), y 873,15 K (3 h) exhibieron dos bandas de reflexión entre 250 y 1600 nm, las cuales incrementaron su reflexión cuando la temperatura de sinterización se incrementó a 973,15 K (3 h) y 1173,15 K (1 h).

Y a medida que la temperatura de calcinación aumenta, el campo del cristal se dividió completo, las terceras bandas se hicieron más pronunciadas. En el rango de luz visible se observaron bandas de absorción muy pequeñas a 504 nm para muestras a 873,15 K (3 h), 973,15 K (3 h) y 1173,15 K (1 h), que puede atribuirse a la transición electrónica $Ni^{2+} \rightarrow Ti^{4+}$.

El color amarillo de este polvo está asociado a la alta reflexión, que se observó a 580 nm

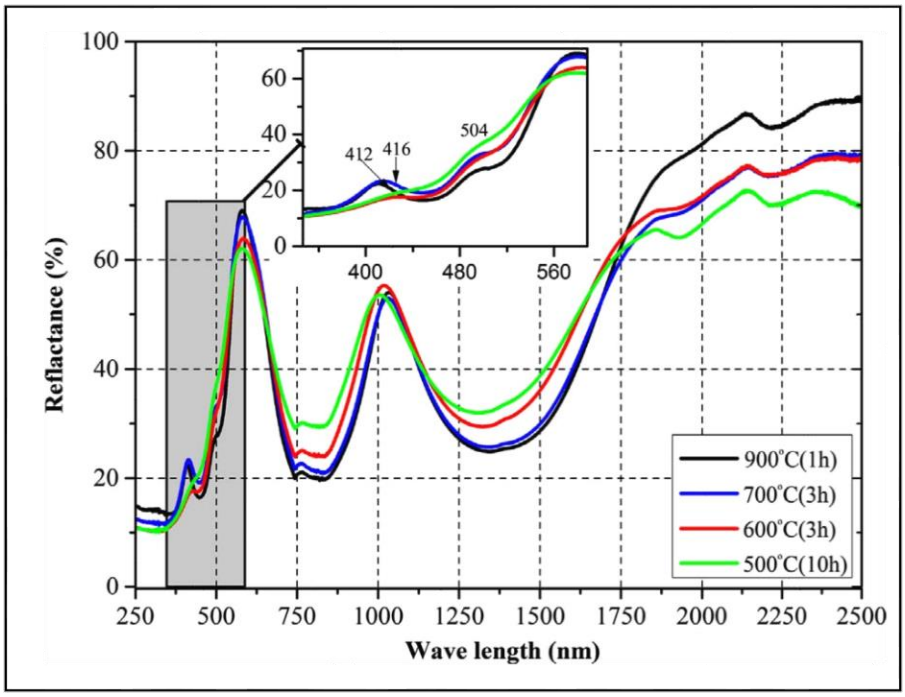



Figura 11. Espectros de reflexión difusa UV-Vis-NIR de nanopartículas de $NiTiO_3$ tratadas térmicamente a diferentes temperaturas.
Fuente: Rabigul T., Jiang T., Qiushan Y., 2017.

También se observa en la Figura 11, que las nanopartículas de $NiTiO_3$ reflejan de 500 nm a 750 nm, también es reflejado a los 875 nm, a 1312 nm y finalmente de los 1375 nm hacia adelante.

### 2.3.4.3. Materiales orgánicos reflectantes NIR

Son raros, pero se afirman debido a dos patentes, que los pigmentos negros que contienen ftalocianina de cobre (Baler, F., 2006) y los pigmentos azo son de alta reflexión de NIR (Horiguchi, S.; Ohira, S.; Abe, Y., 1987). Cuando

se incorpora con mica nacarada, la reflectancia del pigmento de ftalocianina de cobre halogenado puede ser superior al 50 % en el rango de longitud de onda de 1000 a 1500 nm y se mantiene por encima del 35 % de 1500 a 2200 nm, como se muestra en la Figura 12. Los compuestos azo que se muestran a continuación (que se muestran en la Figura 13) se da un uso como agentes de impresión textil, pinturas y tintas de impresión con color verde oscuro. La reflectancia IR de los artículos coloreados es tan alta como la de las plantas verdes, por lo que sirve como camuflaje, y no se puede distinguir del entorno mediante detectores IR, a diversos equipos, dispositivos e instalaciones militares.

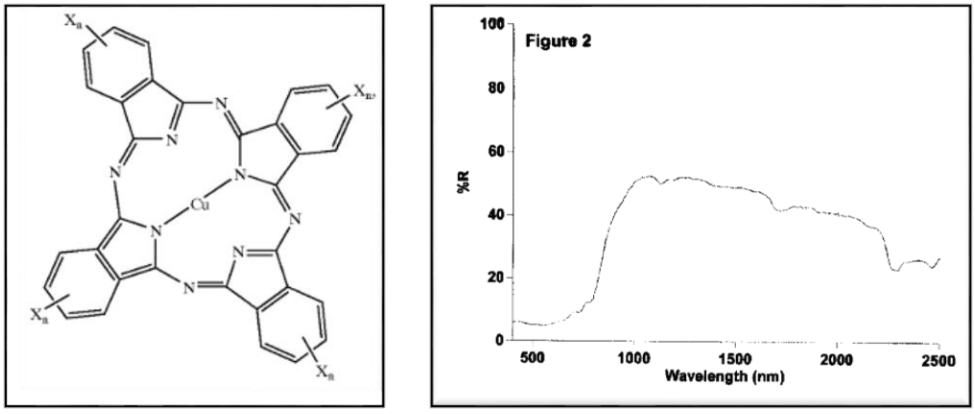



Figura 12. Estructura y reflectancia IR de la ftalocianina de cobre.
Fuente: Baler, F., 2006.

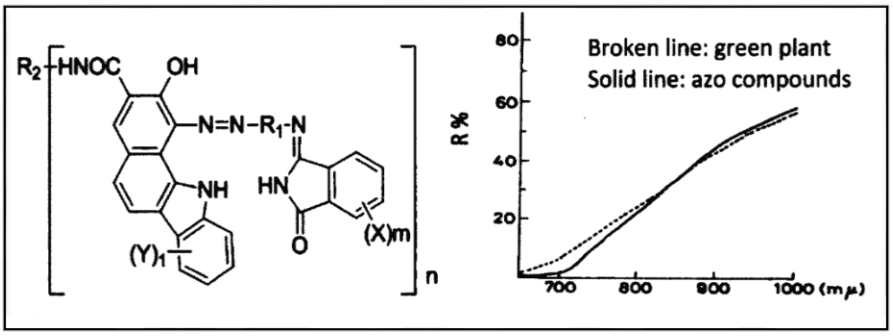



Figura 13. Estructura y reflectancia IR de los compuestos azoicos.
Fuente: Horiguchi, S.; Ohira, S.; Abe, Y., 1987.

### 2.3.4.4. Material reflectante de NIR natural: clorofila

La clorofila es el único material natural reflectante de NIR que se conoce en la actualidad. En la Figura 14 se muestra cómo las hojas pueden reflejar la luz verde y de NIR de la luz solar. Se puede identificar los tipos de plantas viendo el espectro reflectivo único de diferentes hojas. Para usos militares, los pigmentos verdes convencionales sirven como camuflaje en los recubrimientos, ya que reflejan la luz verde, pero absorben IR mientras que la clorofila lo refleja. Sin embargo, no se usa clorofila como material de camuflaje, debido a su poca estabilidad.

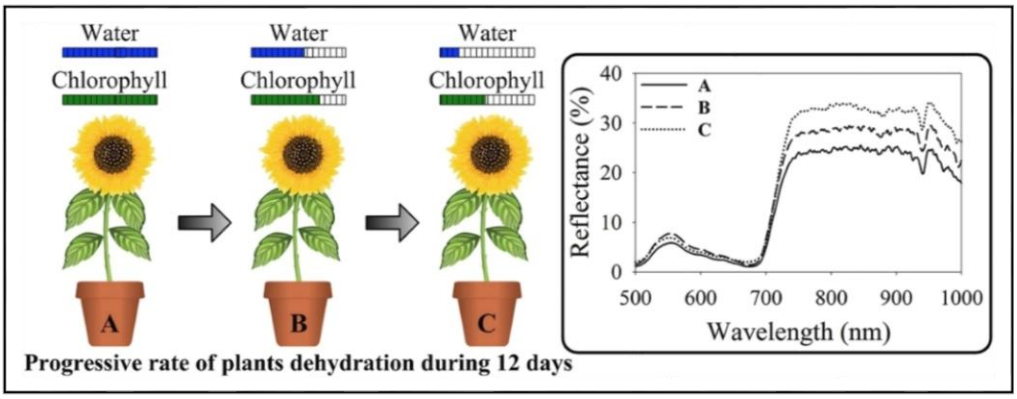



Figura 14. Reflejo de clorofila.
Fuente: Steidle N., Lopes D., Pinto F., 2016.

### 2.3.5. Evaluaciones de materiales reflectivos de NIR

Existen varios métodos y procedimientos disponibles:

Prueba de acumulación de calor: ASTM D 4803 es un método de prueba que revela la acumulación de calor de los objetos exteriores. Cuando se prueba el aumento de temperatura de un objeto al exponerse a una lámpara de calor hasta que alcance el equilibrio térmico en una caja aislada, puede revelar la acumulación de calor que se correlaciona con la temperatura de una superficie exterior.

Reflectómetro espectral solar: Su resultado es un porcentaje general del valor del reflejo solar total. ASTM C 1549 utiliza este método para determinar la reflectancia solar de los sustratos.

Emisómetro: Se usa para medir el emisividad de un ejemplar.

Espectrómetro UV / Vis / NIR: Mide el porcentaje de reflectancia y transmitancia en un amplio rango de longitud de onda de UV a NIR.

El resultado de reflectancia o transmitancia se correlaciona con la longitud de onda. Se puede obtener una reflectancia total dependiendo del tipo de detector y la geometría de configuración. UV / Vis / NIR es una herramienta de investigación necesaria para el desarrollo de materiales reflectantes IR.

### 2.3.6. Aplicaciones de materiales reflectantes de NIR.

Se han utilizado en las industrias arquitectónicas, militares, plásticas y de tinta. Algunas de estas aplicaciones se usan de manera fija, como el camuflaje, otras son relativamente nuevas, pero crecen de una manera rápida como interiores de automóviles, textiles, pintura, asientos de estadios y superficies de estacionamiento. Y otras nuevas aplicaciones crecen centrándose en el ahorro de energía o la eficiencia. Por ejemplo, NIR reflexivo.

Los materiales se emplean en revestimientos para paredes externas y techos de edificios para reducir la carga de enfriamiento de los acondicionadores de aire. El enfriamiento merece más atención que el calentamiento debido que el consumo de energía para el enfriamiento es más de tres veces que el del calentamiento.

Los recubrimientos reflectantes de NIR transparentes pueden ser aplicados en las ventanas de vidrio para bloquear el calor solar sin afectar el brillo interior.

Algunas pantallas reflectoras de NIR hechas de compuestos de polímeros con pigmentos de NIR se pueden aplicar para invernaderos que permiten la transmisión de luz visible, muy necesaria para la fotosíntesis, y que refleja la luz NIR. Otra aplicación de los materiales de NIR es el camuflaje, como, por ejemplo, en la impresión textil.

Existe una creciente demanda para desarrollar nuevos pigmentos reflectantes de NIR como también hay investigaciones en curso sobre el procesamiento de materiales de NIR como películas delgadas metálicas, que es el material reflectante de NIR más alto con baja emisividad.

(Yu Xin C., 2011)

Existen pigmentos reflectantes:

• Metales puros, como el Cu, Al y Ag.

• Metales con recubrimientos superficiales (AlO (OH) en Al y AgS en Ag)

• Estructuras de múltiples capas: $TiO_2$ / Au / $TiO_2$, polvo de silicio y cenosfera recubierta de partículas de metal.

Se han utilizado los metales recubiertos para disminuir la reflectancia de la luz visual. Como, por ejemplo, el recubrimiento exterior del metal, absorberá la luz visible que se considera como un óxido metálico. Mientras que la luz IR de una longitud de onda más larga pasará a través del recubrimiento y será reflejada por

El metal subyacente.

Para minimizar el reflejo de la luz visual y dar un alto reflejo de la luz IR, están diseñadas las estructuras de múltiples capas (Figura 15). (Fang, V.; Kenedy, J.; Futter, J. ,2013)

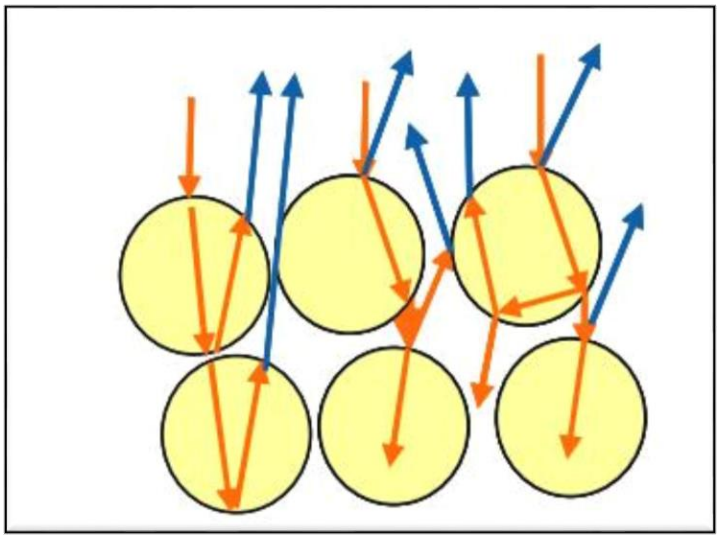


Figura 15. Principio de reflectancia retrodispersada para la transmisión de partículas.

Fuente: Fang, V.; Kenedy, J.; Futter, J., 2013.

### 2.3.7. Confort térmico

La radiación solar intensa puede potencialmente elevar la temperatura dentro de los edificios cuando las superficies exteriores absorben energía solar, por lo que el calentamiento no deseado aumenta las cargas de enfriamiento. El uso de un recubrimiento "reflectante" ayuda a mantener bajas las temperaturas de la

superficie exterior de la construcción y consecuentemente contribuye a aumentar los niveles de confort térmico interior en la temporada de calor, lo que reduce la necesidad de enfriamiento. (Jian-Lei W., Yuan-Qing L., Young-Ji B., (2012))

La temperatura de confort en oficinas está relacionada también en la ergonomía en prevención de riesgos laborales, en donde existen organismos como el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) y el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios), que recomiendan una temperatura de confort de:

- En verano: entre: 296,15 K y 298,15 K (RITE)
  entre: 296,15 K y 300,15 K (INSHT)
- En invierno: entre: 294,15 K y 296,15 K (RITE)
  entre: 290,15 K y 297,15 K (INSHT)

(Qpcomunicacion)

Actualmente los ambientes(containers) ubicados en zonas muy alejadas de los centros urbanos están sujetos a ambientes térmicos poco deseables producto de la radiación solar, y para mejorar estas condiciones, se emplean diversos tipos de sistemas de refrigeración, los cuales por lo general emplean combustibles fósiles, en los cuales se observa un alto consumo de combustible para tener un acondicionamiento de aire suficiente en los containers correspondientes.

Existen diversos tipos de containers para este propósito, por ejemplo, containers para oficinas, unidades para acomodación, casinos, dormitorios, salas de juntas, baterías para baños, etc.

**Diagrama bioclimático de Givoni**

Es un diagrama psicométrico: es decir, tiene en cuenta las características de la temperatura para evaluar la sensación térmica del aire, de confort y la humedad. No es un diagrama que dé unos resultados precisos, puesto que cada persona tiene su propio estado de confort, pero sí es una buena aproximación en términos generales.

Se usa los valores humedad media y temperatura de cada mes. Obteniéndose 12 líneas que representan el rango de variación entre los estados máximos y mínimos medios de cada uno. Como se observa en la Figura 16.

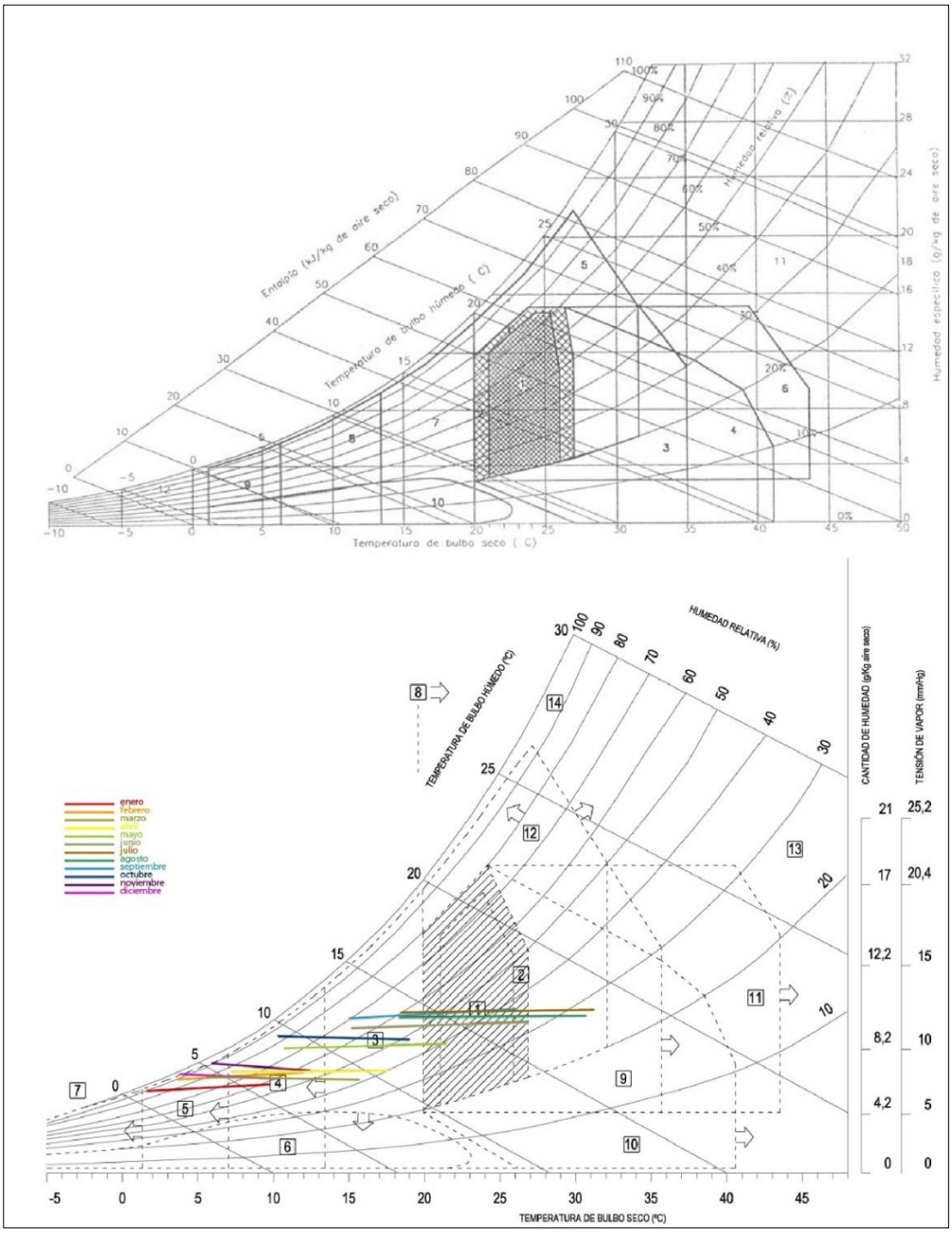



Figura 16. Diagrama bioclimático de Givoni
Fuente: Sanchez G. J., 2011.

En la Figura 16 se observan representados cada mes del año con una línea, donde sus extremos corresponden a los valores máximos y mínimos medios de humedad relativa y temperatura. Está dividido en varias zonas, cada una con un número que corresponden a áreas en las que se dan unos condicionantes climáticos similares, que pueden ser agrupados dentro de una misma categoría donde existe una solución bioclimática a resolver:

- 1 – Zona de confort
- 2 – Zona de confort permisible
- 3 – Calefacción por ganancias internas
- 4 – Calefacción solar pasiva
- 5 – Calefacción solar activa
- 6 – Humidificación
- 7 – Calefacción convencional
- 8 – Protección solar
- 9 – Refrigeración por alta masa térmica
- 10 – Enfriamiento por evaporación
- 11–Refrigeración por alta masa térmica con ventilación nocturna
- 12 – Refrigeración por ventilación natural y mecánica
- 13 – Aire acondicionado
- 14 – Deshumidificación convencional

Este diagrama fue aplicado en la ciudad de Alcalá de Henares (España), los meses de invierno y parte del inicio de primavera y final de otoño siendo las zonas 4 y 5, por lo que, a la hora de diseñar un edificio, se solucionan las necesidades de calor con calefacción solar pasiva y activa. En los meses de julio y agosto, con un sistema de refrigeración o un recubrimiento reflectante por alta masa térmica se puede resolver las necesidades de confort climático. Y el resto del año, las ganancias internas podrían servir para mantener un buen clima interior. (Sanchez G. J.,2011)

Este diagrama es una herramienta que permite tener una idea general del clima de un lugar, que podría ser en la costa, sierra o selva del Perú, como también lo que debería de ofrecer un edificio a nivel bioclimático. Una parcela expuesta o una persona "friolera" es más que suficiente para modificar las condiciones climáticas que requiera.

Para el presente estudio se ha considerado el container para fines de oficina:

### 2.3.8. Container para oficina

Por lo general tienen una estructura suficientemente resistente para su continua manipulación y reutilización, por esa razón están fabricados con materiales en aceros, pero también los hay de aluminio como también de madera contrachapada reforzados con fibra de vidrio. En la mayoría de los casos, el suelo es de madera. (Figura 17). En el interior llevan un recubrimiento especial antihumedad para evitar la degradación de los materiales que lo componen, como

efecto de la absorción de humedad. Otra particularidad que define a los contenedores es la presencia, en cada una de sus esquinas, de alojamientos para los *twistlocks*, que les permiten ser enganchados por grúas especiales, así como su trincaje tanto en barcos como en camiones u otros lugares de anclaje. (Concha J. R.)

La ventaja de los containers para oficina es que tienen una facilidad de transportarse, una construcción rápida que beneficia el abaratamiento en coste y al hacerlos de estos materiales (aceros, aluminio y madera contrachapada), resultan ser resistentes y seguros tanto como para las personas y al medio ambiente ya que no generan alteraciones permanentes en el terreno.



Figura 17. Container para oficina
Fuente: Archbold C. J.

Otra de las características, como se aprecia en la Figura 17, es que este tipo de sistemas cuenta con un sistema de aire acondicionado para poder mantener la temperatura de confort dentro de dicho ambiente.

Dependiendo del tamaño del container, el consumo de energía eléctrica será mayor o menor, por ejemplo, para mantener la temperatura de confort dentro de un container de 40 $ft^3$, como mínimo se necesita un sistema de aire acondicionado de 10 000 BTU (2,93 KW), para lo cual se necesitarían 1,2 L/h de petróleo o gasolina, por lo tanto de manera diaria en una jornada de 8 h se estaría consumiendo 9,6 L de combustible, y mensualmente 288 L, lo que económicamente representa un S/ 1065,60, que además de ser un gasto, dicho monto se incrementara de acuerdo al tiempo de ejecución del proyecto y la cantidad de containers que se empleen como oficinas para este propósito. Además, el uso de combustibles fósiles estaría generando gases de efecto invernadero, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente.

Una de las formas para mantener los niveles de confort térmico en dichos ambientes(containers) en la temporada de verano, es el uso de pinturas que sean capaces de reflejar radiación infrarroja.

## 2.4. Técnicas de caracterización

Las técnicas de caracterización empleada para el estudio de los materiales, vienen siendo mediante la difracción de rayos X para determinar la estructura cristalina y la distancia interplanar del compuesto, y la espectroscopía UV - Vis / NIR en un rango de longitud de onda comprendida entre los 200 y 1100 nm, para obtener las curvas de absorción y reflexión.

### 2.4.1. Espectroscopía UV - Visible

Se basa en el análisis de la cantidad de radiación electromagnética (en el rango de longitudes de onda del ultravioleta-visible y/o NIR comprendida entre los 200 y 1100 nm) que puede transmitir o absorber una muestra en función de la cantidad de sustancia presente. (Universidad Carlos III de Madrid (2015))

Aplicaciones

- ✓ Determinar las curvas de absorción de los nanomateriales.
- ✓ Determinar la brecha de energía de los nanomateriales.
- ✓ Determinar las longitudes de onda de absorción, transmisión y reflexión de los nanomateriales, entre otros. (Universidad de Alicante, 2016)

El equipo se muestra a continuación: (Figura 18)

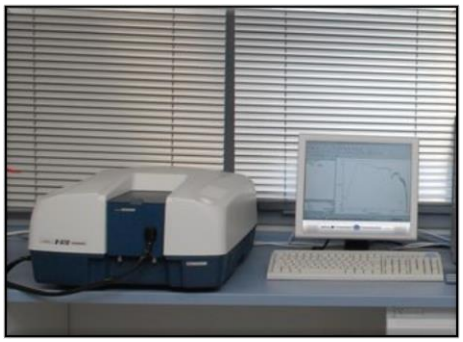


Figura 18. Espectrómetro UV-Vis/NIR Jasco V-670
Fuente: Universidad de Alicante, 2016.

Adicionalmente, esta técnica permite el análisis de muestras sólidas, mediante la técnica que se presenta a continuación:

**Reflectancia difusa**

Estudia la reflexión de un haz de luz que incide en una superficie rugosa, estos son reflejados en distintos ángulos y direcciones, (Figura 19) haciendo que no se pueda visualizar una imagen en la superficie.

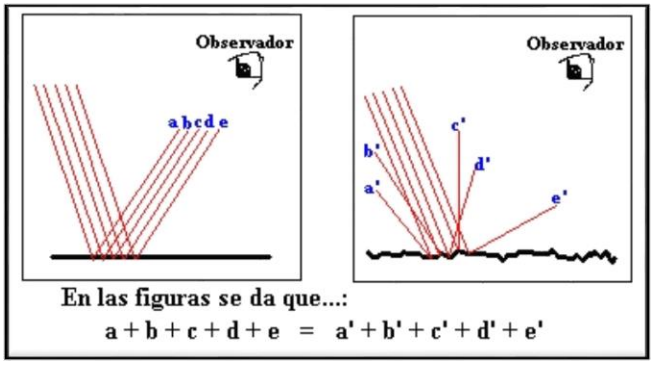



Figura 19. Reflectancia según superficies
Fuente: Campins F., Querol P., 2012.

Este tipo de fenómeno sucede, debido a que las micro o macro rugosidades desvían la luz en diferentes ángulos y direcciones. (Candia S., 2009)

Este tipo de reflexión depende del tamaño de partícula, porque cuando disminuye el tamaño de partícula, la reflexión en los límites de grano aumenta. Haciendo que disminuya la profundidad de penetración de la luz incidente, provocando el aumento de la reflectancia y una disminución en absorción.

La espectroscopia de reflectancia está muy vinculada con la espectroscopía UV / Vis, porque ambas técnicas utilizan luz visible para excitar electrones de valencia a orbitales vacíos en la banda de conducción. Sin embargo, la diferencia en estas técnicas es que en la espectroscopia UV / Vis mide el cambio relativo de la transmitancia de la luz cuando pasa a través de una solución, entretanto que en la reflectancia difusa, se mide el cambio relativo en la cantidad de luz reflejada de una superficie. (Ryan, 2013).

Otra de las técnicas que muestra las propiedades estructurales de los materiales y compuestos es la difracción de rayos X:

### 2.4.2. Difracción de rayos X

Está basada en las interferencias ópticas que se dan cuando una radiación monocromática traspasa una rendija de espesor similar a la longitud de onda de la radiación.

Los Rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, de igual orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los Rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas.

El método analítico del Polvo al Azar o de Debye-Scherrer consiste en irradiar con Rayos X sobre una muestra formada por multitud de cristales colocados al azar en varias direcciones posibles (Figura 20). Para ello es aplicable la Ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d\ sen\theta \qquad [2]$$

n: Es un número entero.

λ: Longitud de Onda.

d: Distancia interplanar de la estructura de la muestra.

θ: Ángulo de la incidencia de los rayos X.

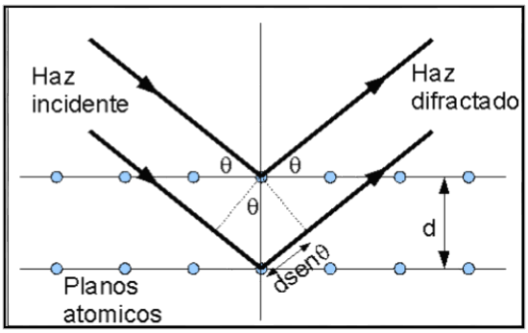



Figura 20. Ley de Bragg
Fuente: Cabrera A., 2002.

Existen varias clases de aplicaciones, la difracción de rayos X es un método de alta tecnología no destructivo para el estudio de una amplia gama de materiales, metales, polímeros, minerales, productos farmacéuticos, catalizadores, recubrimientos de capa fina, semiconductores, cerámicas, entre otros. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina.

Otras aplicaciones son el análisis cuantitativo y cualitativo de compuestos cristalinos, así como la obtención de los parámetros de la red y la determinación del tamaño del cristalito. (Universidad de Alicante, 2016)

## 2.5. Definición conceptual de términos

### 2.5.1. Estructura cristalina

Es uno de los estados sólidos que pueden adoptar en la naturaleza las moléculas, iones o átomos, el cual se caracteriza por poseer una alta organización atómica dentro de la red de un material.

En otras palabras, esta es la "arquitectura corpuscular" que define muchos cuerpos con apariencias brillantes y vítreas. (Bolívar G., 2015)

**Tamaño del cristal:**

Es el grupo más pequeño de partículas en un material que forma el patrón repetitivo en los cristales, los átomos, los iones o las moléculas se empaquetan y

se repiten desde cada 5 Angstrom hasta las centenas de Angstrom (1 Angstrom = $10^{-8}$ cm), y esa constante repetición, en tres dimensiones, se denomina red cristalina.

El conjunto que se repite, por traslación ordenada, genera toda la red y se denomina celdilla unidad. (Martínez M., actualizado 2018)

El tamaño de cristal o cristalito puede ser determinado por la ecuación de Scherrer:

**Ecuación de Scherrer:**

Es una fórmula que relaciona el tamaño de partículas, cristalitos o submicrométricas, en un sólido con la ampliación de un pico en un patrón de difracción.

La cual establece que el tamaño de grano es inversamente proporcional al ancho medio del pico máximo de difracción y al coseno del ángulo del pico máximo, conforme a:

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta cos\theta} \qquad [3]$$

Donde:

τ: Tamaño de cristalito.

K: Es un factor de forma adimensional, con un valor cercano a la unidad. El factor de forma tiene un valor típico de aproximadamente 0,9, pero varía con la forma real de la cristalita.

λ: Es la longitud de onda de rayos X.

β: Es la ampliación de la línea a la mitad de la intensidad máxima ( FWHM ), después de restar la ampliación de la línea instrumental, en radianes . Esta cantidad también se denota a veces como Δ(2θ).

θ: Es el ángulo de Bragg.

(Universidad de Sonora, 2016)

Donde se considera un factor de forma K = 0,9, λ = 1,5406 Å nm, β = 0,31957 y cos (33,22/2)= 0,9583. Dando como resultado τ = 313 Å

**Planos preferentes:**

Las direcciones cristalográficas son líneas geométricas que unen nodos (moléculas, iones o átomos) de un cristal. De la misma forma, los planos cristalográficos son planos geométricos que unen nodos. Algunas direcciones y planos tienen una mayor densidad de nodos.

Estos planos de alta densidad tienen una influencia en el comportamiento del cristal.

### 2.5.2. Nanomateriales

Es el diseño y la producción de estructuras u objetos muy pequeños, inferiores a 100 nanómetros (100 millonésimas de milímetro).

Los nanomateriales son uno de los productos principales de las nanotecnologías, como partículas, fibras o tubos a nanoescala. Generalmente se definen por ser menores de 100 nanómetros en al menos una dimensión. (Figura 21).

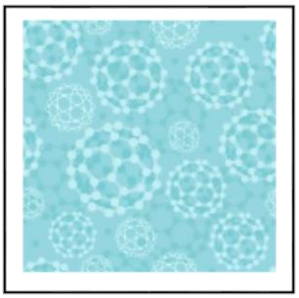


Figura 21. Nanomateriales
Fuente: CCRSERI., 2009.

A medida que la nanotecnología mejora y avanza, se encuentra aplicaciones para los nanomateriales en el cuidado de la salud, la electrónica, los cosméticos, los textiles, la informática y la protección medioambiental.

Las propiedades de los nanomateriales, por lo general, no están siempre bien identificadas y requieren una valoración de los riesgos de posibles exposiciones que se crean durante su fabricación y uso. (El Comité científico de riesgos sanitarios emergentes y recientemente identificados (CCRSERI)., 2009)

### 2.5.3. Morfología de las nanopartículas

Forma que caracteriza a las nanopartículas, la cual dependerá del tipo de síntesis con la que se hayan fabricado, por ejemplo, en la Figura 22 se observan distintos tipos de morfologías de nanoestructuras de ZnO, las cuales fueron sintetizadas por distintas técnicas, tales como: a) y b) Método de química blanda solvotermal, c) Método sonoquímico, d) Método Sol Gel, e) Método de evaporación de Zn en O2, f) método co-precipitación, g) Método deposición electroquímica, h) Método de precipitación. (Moezzi A., Michael B., Cortie, 2012)

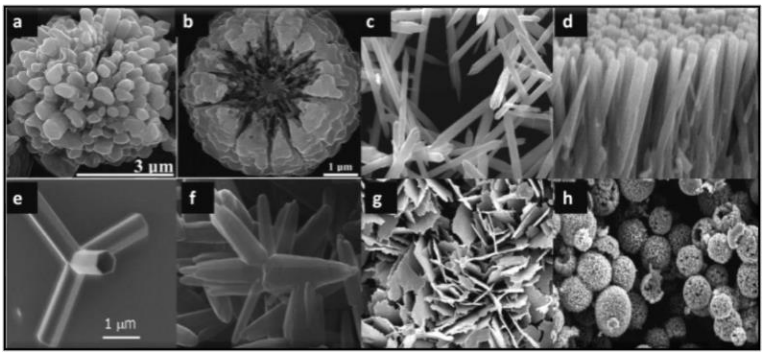



Figura 22. Distintas morfologías del ZnO
Fuente: Moezzi A., Michael B., Cortie, 2012.

Es muy importante para explotar sus propiedades para uso en varias tecnologías emergentes. Los bio-sensores y filtros ópticos están entre las muchas aplicaciones que usan las propiedades ópticas. (Mandal A., 2016).

### 2.5.4. Identificación de variables

- ✓ Concentración de $NiTiO_3$, representa la cantidad a agregar de nanopartículas al compuesto, las cuales serán: 0,1 - 0,3 - 0,5
- ✓ Número de capas del compuesto
- ✓ Tipo de material
- ✓ Reflexión de la radiación solar
- ✓ Conducción de calor

### 2.5.5. Definición de variables

- ✓ **Variables independientes:**

  Compuesto de nanopartículas con $NiTiO_3$

  Indicadores:

  - Concentración de $NiTiO_3$
  - Número de capas del compuesto
  - Tipo de material

- ✓ **Variables dependientes:**

  Temperatura de los materiales metálicos

  Indicadores:

  - Reflexión de la radiación infrarroja
  - Conducción de calor

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

## 3.1. Preparación del sustrato

Los materiales que se emplearon en donde se aplicó el compuesto fueron:



Aluminio Acero inoxidable 304 Acero A36

Figura 23. Placas de aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36
Fuente: Elaboración propia.

Cada placa de aluminio tiene una dimensión de 10 mm x 10 mm, con un espesor de 3 mm, y un peso de 75 g, de la misma manera cada placa de acero inoxidable 304 tiene una dimensión de 10 mm x 10 mm, con un espesor de 3 mm, y un peso de 225 g, por último, también se estudió otro tipo de acero, por lo que empleó placas de acero A36 con una dimensión de 10 mm x 10 mm, un espesor de 3 mm, y un peso de 350 g.

Se comenzó con la limpieza de cada placa de metal, con la ayuda de una lija para metal 100-1, de manera que se conserve en buen estado el metal y no se llegue a maltratar. Para después hacer un pulido con un retazo de tela a cada placa y de esta manera se mantenga libre de polvo, residuos u otro tipo de impurezas y finalmente proceder al pintado con el compuesto de $NiTiO_3$.

## 3.2. Elaboración de la pintura con el $NiTiO_3$

Se utilizaron 3 recipientes de 100 ml, cada uno conteniendo 15 ml de tiner, al cual se le añadió 30 ml de pintura (marca Velsalit Gloss) mediante una micropipeta automática. Para una buena dispersión de las nanopartículas se empleó un agitador ultrasónico, con una frecuencia de agitación de 35 kHz (Figura 24), por un lapso de 5 min.




Figura 24. Agitador ultrasónico
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al diseño experimental, se agregaron distintas cantidades de nanopartículas de $NiTiO_3$ tales como: 100 mg, 300 mg, y 500 mg, respectivamente, para un correcto pesaje se empleó una balanza analítica (Figura 25).




Figura 25. Balanza analítica
Fuente: Elaboración propia.

Una vez pesadas las cantidades de $NiTiO_3$ antes mencionadas, se añadieron lentamente a la solución que contenía la pintura y el tiner, bajo agitación ultrasónica constante por un lapso de 10 min para cada recipiente, y así finalmente, obtener una solución uniforme, con el $NiTiO_3$ dispersado en la totalidad de la solución, obteniéndose una solución homogénea. Este proceso se realizó con cada una de las muestras.

Posteriormente, se realizó el proceso de pintado, como se detalla a continuación.

### 3.3. Deposición de la pintura sobre el sustrato

El pintado se realizó depositando una primera capa (base) empleando una mezcla de 15 ml de tiner con 30 ml base al aceite, color blanco de marca Velsa, con la ayuda de una brocha de 1", dándole una sola capa a todas las placas. El secado se realizó a temperatura ambiente por un lapso de 15 min.

Posteriormente, de acuerdo al diseño experimental, se procedió el pintado de las placas (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36), las primeras únicamente con la pintura y las restantes con los compuestos de $NiTiO_3$ (100 mg, 300 mg, y 500 mg), previamente preparadas.

El depósito se realizó de manera manual, dándoles 1, 2 y 3 capas de la pintura y los compuestos respectivamente.

El espesor de las capas se realizó mediante SEM, lo cual se puede observar en las Figuras 26, 27 y 28. El software empleado para la medición del espesor fue el IMAGE J, en la cual, las imágenes obtenidas se midieron en distintos lugares obteniéndose los resultados mostrados en las Figuras 26, 27 y 28. Cabe resaltar que cada una de las imágenes mostradas en la parte de Anexo 4, cuentan con un ítem en cada imagen, que indica el número de magnificaciones a la cual se tomó la fotografía.

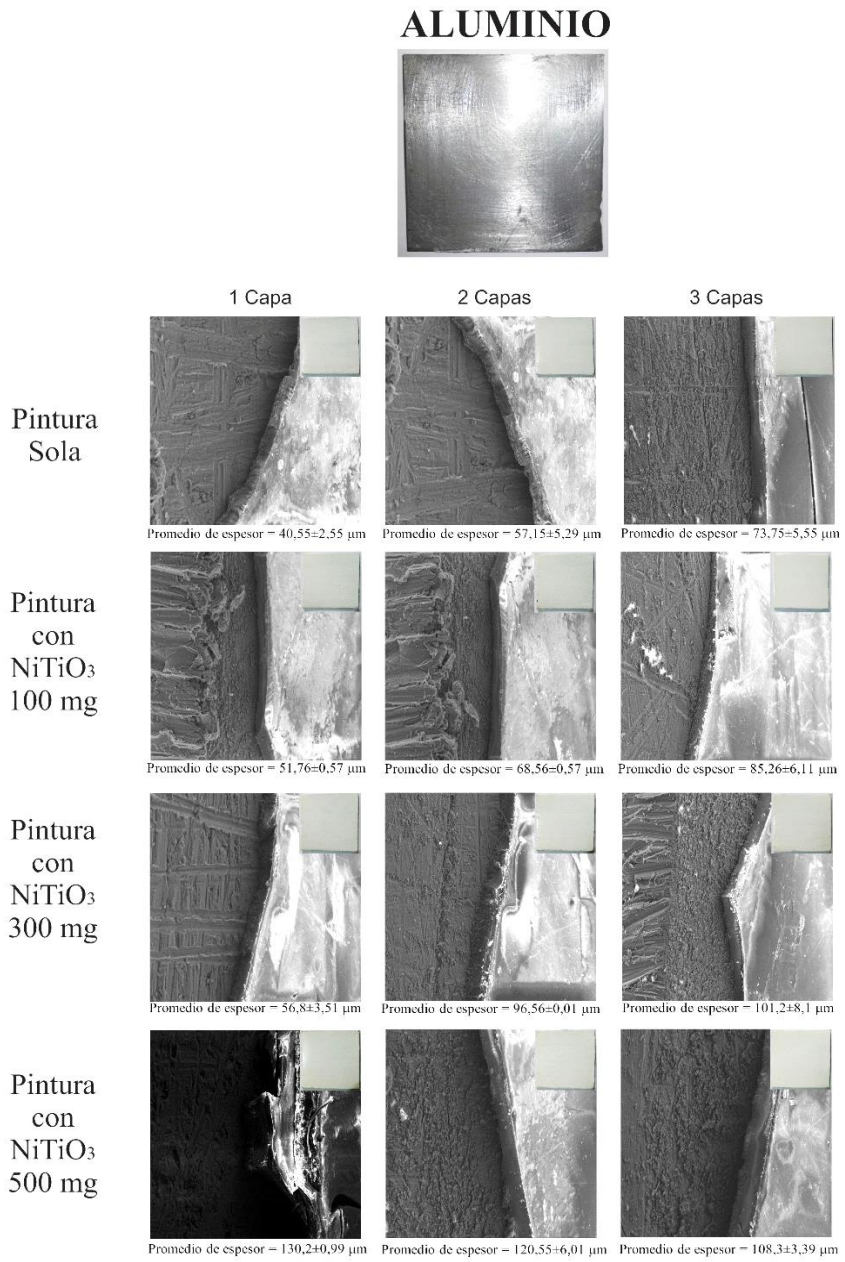



Figura 26. Pintado de las placas de aluminio con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas

Fuente: Elaboración propia.

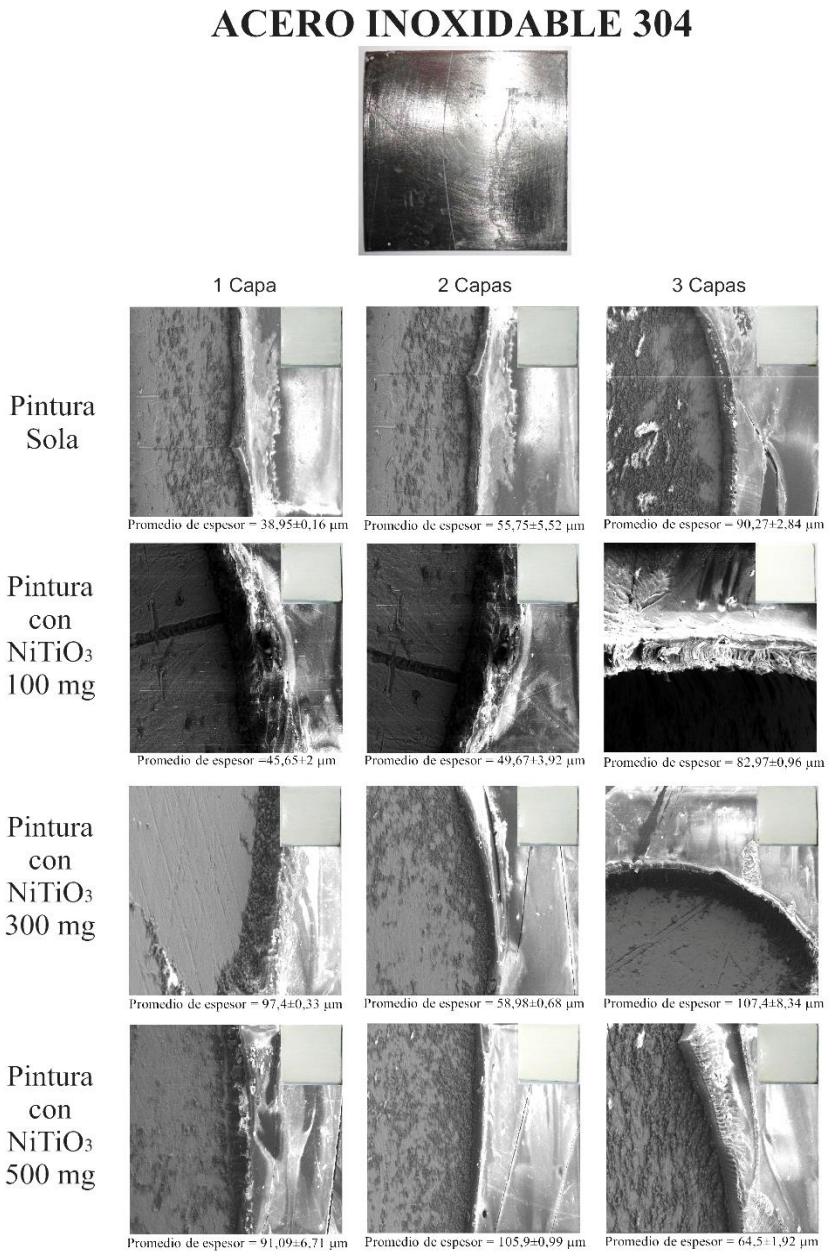



Figura 27. Pintado de las placas de acero inoxidable 304 con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas

Fuente: Elaboración propia.

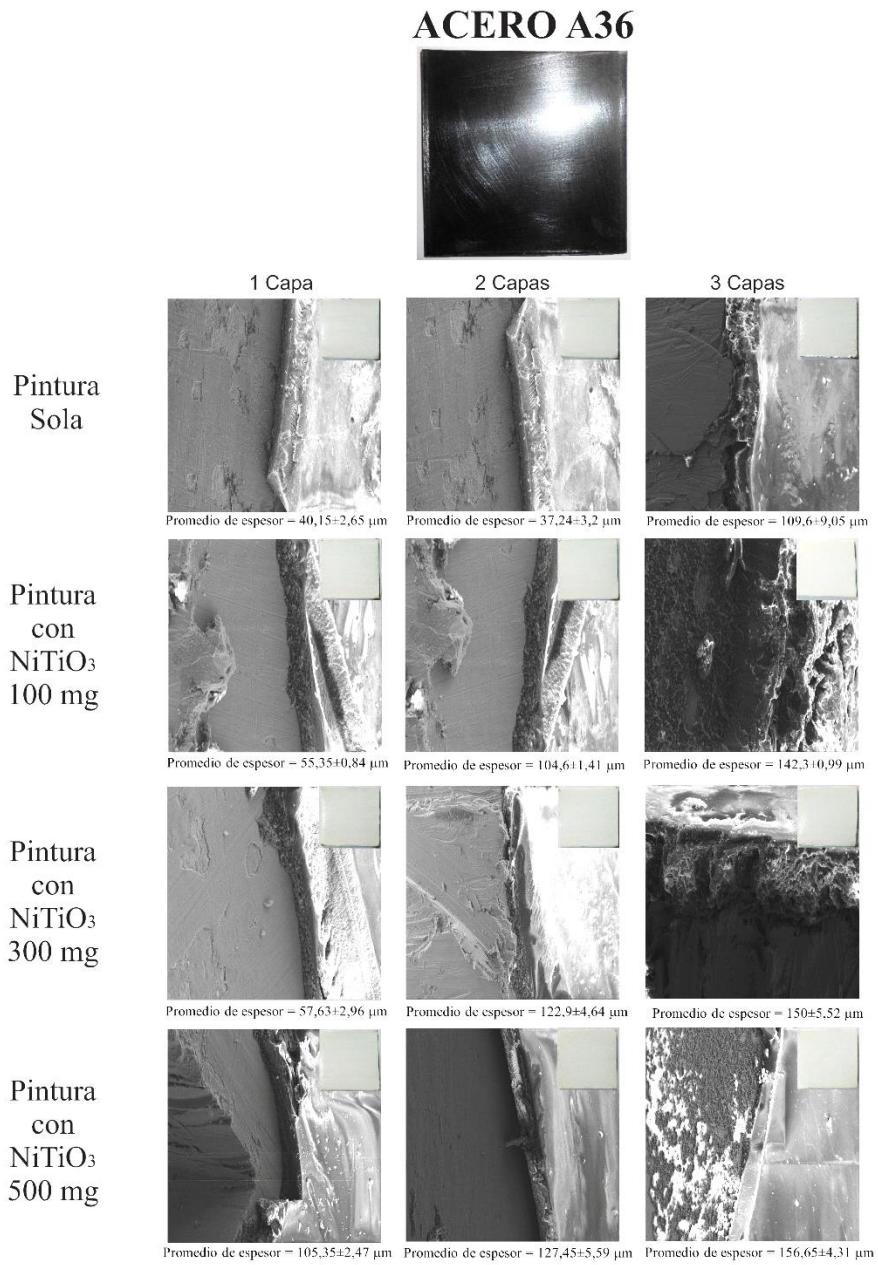



Figura 28. Pintado de las placas de acero A36 con pintura, el compuesto con $NiTiO_3$(100 mg), el compuesto con $NiTiO_3$(300 mg) y el compuesto con $NiTiO_3$(500 mg), y sus capas respectivas

Fuente: Elaboración propia.

## 3.4. Caracterización óptica de las muestras

Se realizaron curvas de reflexión de las muestras empleando un espectrómetro UV-visible marca Thermo Scientific, modelo Evolution 220, empleando una esfera de integración modelo ISA 220.

Las mediciones se realizaron en un rango de longitudes de onda de 200 a 1100 nm, con un tamaño de paso de 0,5 nm, y con una apertura para materiales para obtener una mejor señal de la absorción y reflexión.

## 3.5. Caracterización térmica de las muestras

Para esta experiencia se usó diversos materiales como se observa en la Figura 29. Se usó una caja de madera pintada de color blanco con una dimensión de 11,5 cm x 11,5 cm, con 3 mm de grosor y su respectivo sujetador para la colocación de las placas. Las muestras de placas de metal (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) cuyo lado está cubierto con pintura/$NiTiO_3$, una fuente luminosa (100 W), una termocupla de contacto y papel aluminio en forma de capucha para medir la temperatura reflejada.



Figura 29. Vista de la caja con la placa para medir su temperatura de calentamiento y enfriamiento
Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se posicionó los objetos en un ambiente donde la temperatura sea constante y no exista variación para así obtener una medición más precisa. La caja con la placa a medir, se colocó a una distancia de 15 cm, de la fuente luminosa de 100 W, esto fue contrastado con un piranómetro, el mismo que a una distancia de 15 cm dio una respuesta de 1000 w / $m^2$, la cual es la radiación promedio que incide sobre la tierra. Los datos tomados fueron con multímetro digital marca Prasek Premium PR-301 con sensor de temperatura del tipo termocupla, las mediciones de las temperaturas se realizaron en distintas ubicaciones, la primera a la mitad de la caja, al contacto con la placa, la reflejada con ayuda del papel aluminio en forma de capucha y a la temperatura ambiente.

Para obtener una medición del calentamiento y enfriamiento de la placa, y para corroborar los datos de los resultados, se hicieron en total 2 mediciones de calentamiento y enfriamiento (8 h totales por placa). Donde cada medición hacia 4 h (2 h de calentamiento y 2 h de enfriamiento) como se muestra en las figuras 30 y 31, debido a que la temperatura era constante y ya no variaba hasta los límites de 2h.



Figura 30. Evaluación de calentamiento
Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Evaluación de enfriamiento
Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO IV

# RESULTADOS

## 4.1. Caracterización de nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopia UV-visible.

Con el método de DRX se pudo realizar el análisis estructural y microestructural del $NiTiO_3$. Su código de referencia es 96-900-7 390, el nombre compuesto/común es 9007389 y su fórmula química $Ni_{6,00}Ti_{6,00}O_{18,00}$. Como se ilustra en la Figura 32, viene representando el patrón de difracción de rayos X, cuyos planos preferenciales son: (0 1 2), (0 1 -4), (1 1 0), (0 2 1), (0 2 4), (1 1 6), (0 2 7), (0 3 0), (1 1 9) y (2 2 0) respectivamente y es identificado con el grupo espacial R-3. Tiene un sistema de cristal hexagonal con un número de grupo espacial = 148, como se muestra en la Figura 33. Y los espectros de reflexión difusa UV-Vis-NIR de nanopartículas de $NiTiO_3$ se muestra en la Figura 34.

El tamaño del cristalito se determinó a partir del patrón DRX de acuerdo con la ecuación de Scherrer:

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta cos\theta} \qquad [4]$$

Donde se considerará un factor de forma K = 0,9, λ = 1,5406 Å nm, β = 0,31957 y cos(33,22/2)= 0,9583. Dando como resultado τ = 313, Å=31,3 nm.

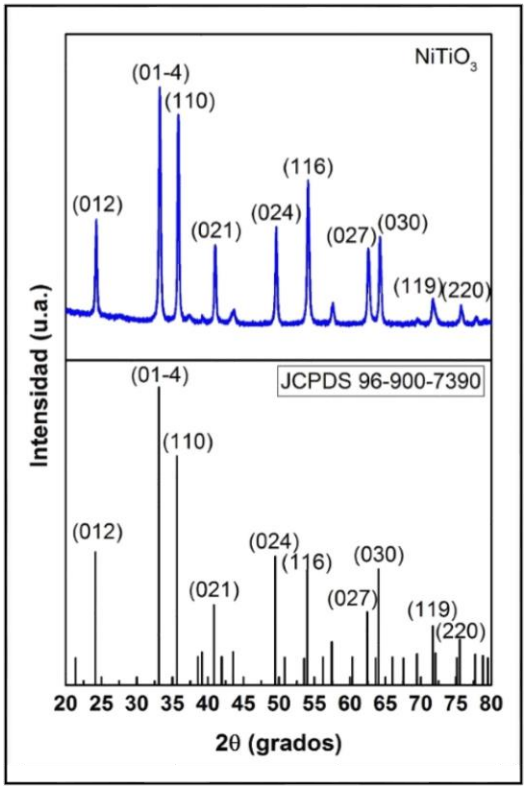



Figura 32. Patrón de difracción de rayos X de los nanocristales del $NiTiO_3$.
Fuente: Elaboración propia.

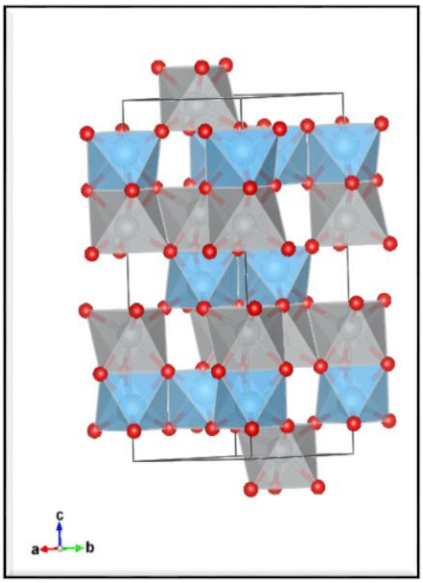



Figura 33. Estructura del $NiTiO_3$
Fuente: Elaboración propia.

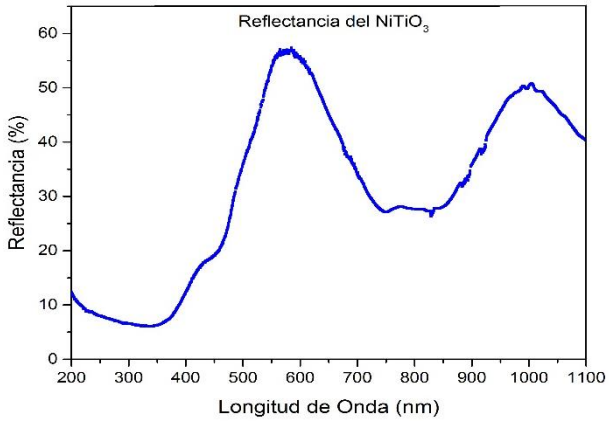



Figura 34. Espectros de reflexión difusa UV-Vis-NIR de nanopartículas de $NiTiO_3$
Fuente: Elaboración propia.

Para corroborar el tamaño de cristalito, se realizó el refinamiento Rietveld, empleando el software XPERT HIGHSCORE PLUS V 4,7. obteniéndose un tamaño de: 37,4 nm.

Con los siguientes parámetros de ajuste:

| | | |
|---|---|---|
| Esperado R | : | 2,1365 |
| Perfil R | : | 2,9553 |
| Perfil R ponderado | : | 4,10751 |
| Estadísticas – D | : | 0,17022 |
| Estadísticas D ponderadas | : | 0,30262 |
| Calidad de ajuste | : | 1,92254 |
| Mezcla MAC ($cm^2/g$) | : | 82,59 |
| Mezcla personalizada MAC ($cm^2/g$) | : | -1 |

## 4.2. Caracterización de reflectancia de superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con $NiTiO_3$ con espectroscopia UV-visible.

En la Figura 35 se muestran los espectros de la reflectancia difusa de las placas de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ que se obtuvieron mediante espectroscopia UV-Vis/NIR en un rango de longitud de onda comprendida entre los 200 y 1100 nm

En el gráfico A se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del aluminio sin pintar, recubiertas con 1 capa de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (color negro), con un rango promedio de 80,66 % de reflectividad.

En el gráfico B se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del aluminio sin pintar, recubiertas con 2 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de

mayor reflectancia la muestra de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (color verde), con un rango promedio de 87,51 % de reflectividad.

En el gráfico C se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del aluminio sin pintar, recubiertas con 3 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (color verde), con un rango promedio de 94,93 % de reflectividad.

Siendo el aluminio, el material más apropiado para su uso en aplicaciones que requieran un buen índice de reflexión, se obtuvo un mayor índice de reflectancia (con un rango promedio de 94,93 % de reflectividad) al añadirle la menor cantidad de pintura y $NiTiO_3$ (100 mg), pero con el mayor número de capas (3 capas), demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ sobre la placa de aluminio es capaz de reflejar los rayos UV-visibles con un mínimo de pintura y $NiTiO_3$, pero más número de capas.

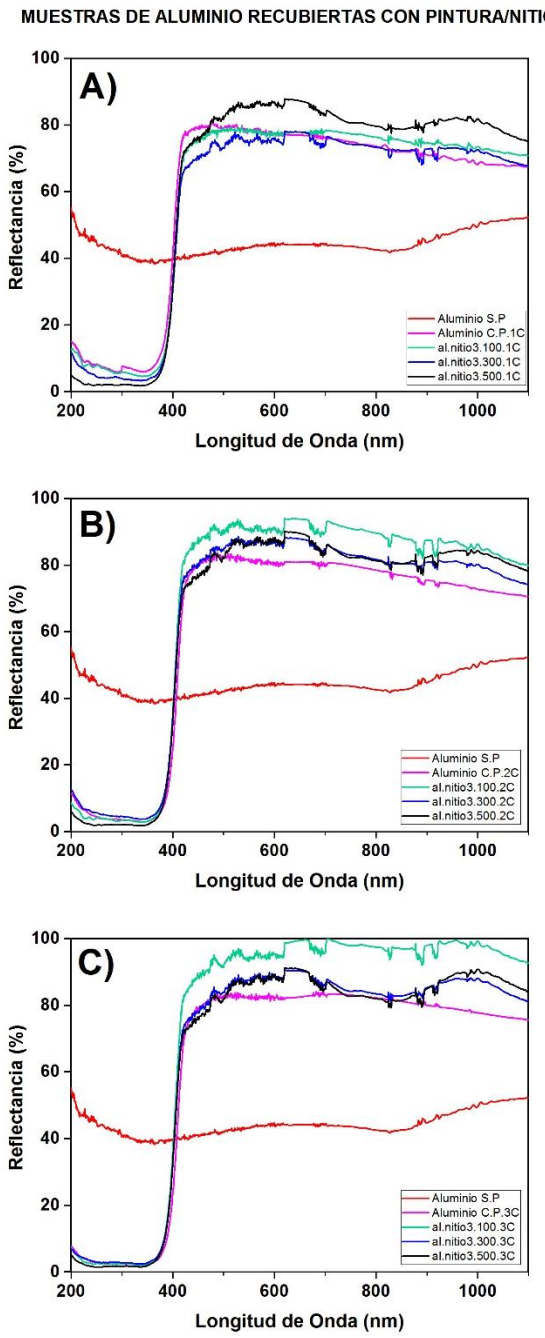



Figura 35. Muestras de aluminio recubiertas con pintura/$NiTiO_3$
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se muestra los espectros de la reflectancia difusa de las placas de acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ que se obtuvieron mediante espectroscopía UV-Vis/NIR en un rango de longitud de onda comprendida entre los 200 y 1100 nm.

En el gráfico A se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 sin pintar, recubiertas con 1 capa de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (color negro), con un rango promedio de 76,06 % de reflectividad.

En el gráfico B se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 sin pintar, recubiertas con 2 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de

mayor reflectancia la muestra de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (color negro), con un rango promedio de 79,81 % de reflectividad.

En el gráfico C se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 sin pintar, recubiertas con 3 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1 100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (color azul), con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad.

En el caso del acero inoxidable 304 se muestra su capacidad para reflejar la luz o emitir brillo, a medida en la que el acero inoxidable 304 es aleado con un mayor porcentaje de aluminio. Y al añadirle más capas de pintura y $NiTiO_3$ (3 capas) sobre el acero inoxidable 304, con una moderada cantidad del compuesto $NiTiO_3$ (300 mg), se obtuvo mayor reflectividad (con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad). Demostrando que a más capas de pintura/$NiTiO_3$ sobre el acero inoxidable 304 con una moderada cantidad de pintura/$NiTiO_3$ se obtiene una buena reflectividad.

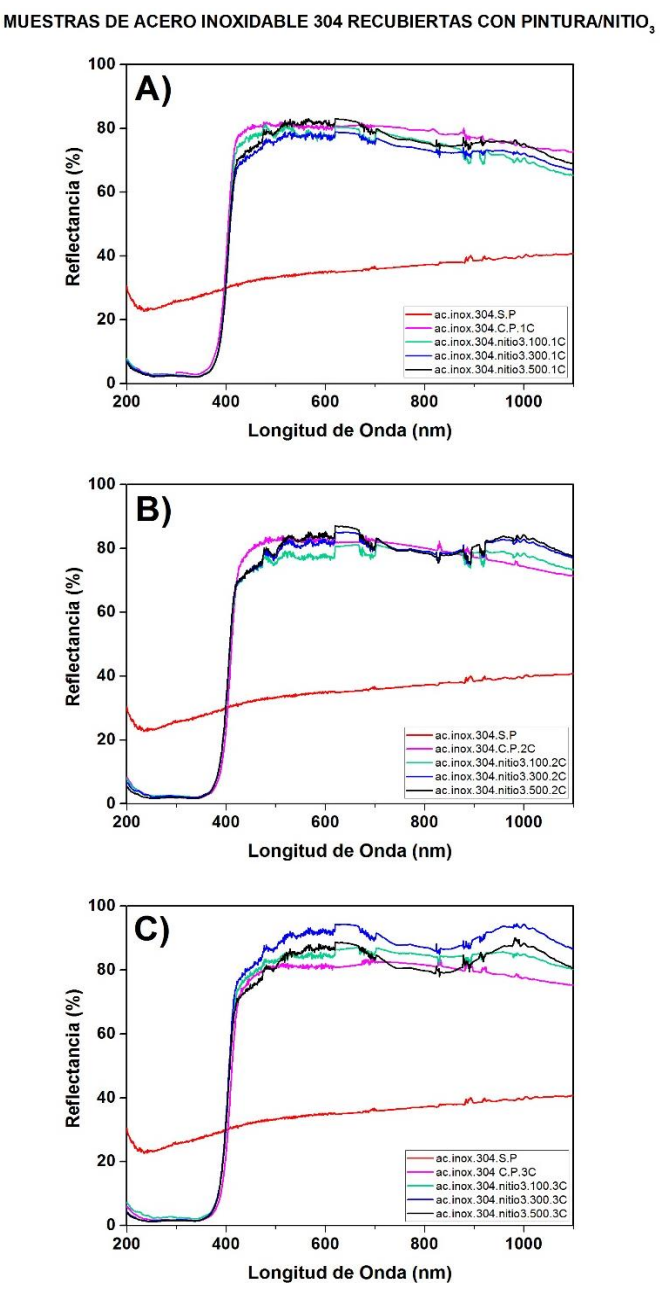



Figura 36. Muestras de acero inoxidable 304 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se muestra los espectros de la reflectancia difusa de las placas de acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ que se obtuvieron mediante espectroscopía UV-Vis/NIR en un rango de longitud de onda comprendida entre los 200 y 1100 nm

En el gráfico A se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero A36 sin pintar, recubiertas con 1 capa de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de acero A36 con pintura (color fucsia), con un rango promedio de 87,62 % de reflectividad.

En el gráfico B se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero A36 sin pintar, recubiertas con 2 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (color verde), con un rango promedio de 82,38 % de reflectividad.

En el gráfico C se observa la comparación de las curvas de reflectancia de las muestras del acero A36 sin pintar, recubiertas con 3 capas de pintura, con 100 mg, 300 mg, 500 mg de $NiTiO_3$, representadas de color rojo, fucsia, verde, azul y negro respectivamente.

Donde se nota el aumento de la reflectancia de las muestras del acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ a partir del rango de los 400-1 100 nm, siendo el de mayor reflectancia la muestra de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (color azul), con un rango promedio de 86,04 % de reflectividad.

El acero A36 es uno de los materiales que menos reflectancia posee, ya que en sus propiedades no es puro, son aleaciones de acero A36 (acero A36 negro plancha A36), y al añadirle la pintura/$NiTiO_3$, no hay mucha diferencia en su reflectividad que cuando sólo tiene pintura, cuando se le da más número de capas sobre la placa de acero A36.

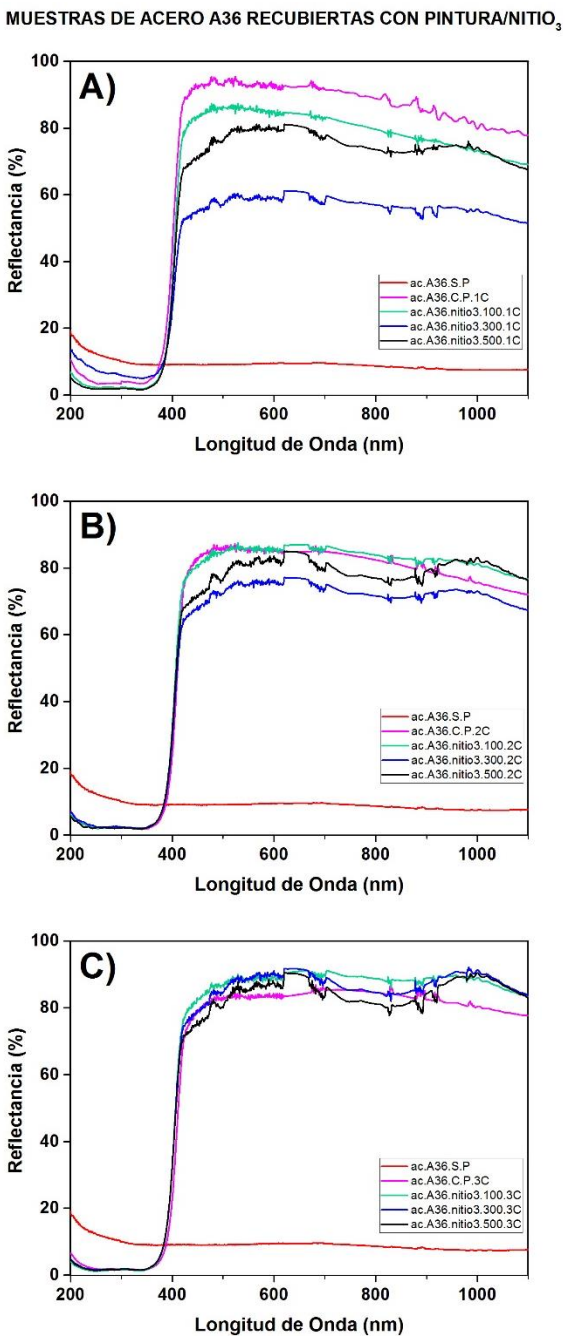



Figura 37. Muestras de acero A36 recubiertas con pintura/$NiTiO_3$
Fuente: Elaboración propia.

## 4.3. Evaluación de temperatura de confort con una fuente de luz de 1000 W/m$^2$.

La evaluación de la variación térmica ocasionado por los distintos recubrimientos se realizó según la Figura 29.

En la cual se irradió una placa de 10x10 cm$^2$ con una fuente luminosa de 100 W, el mismo que a una distancia de 15 cm de la placa simula una radiación solar de 1000 w/m$^2$, lo cual fue contrastado con un solarímetro marca Kipp&Zonen.

Para la evaluación se tomó en cuenta el número de capas de pintura, la cantidad de $NiTiO_3$ agregado a la pintura, la variación de la temperatura dentro de la cabina, la temperatura de la placa y la temperatura reflejada.

Las medidas se realizaron empleando un multímetro con sensor de temperatura del tipo termocupla. La temperatura ambiente al momento de la medición fue de 292,15 K.

Se realizaron 2 ensayos de calentamiento y 2 de enfriamiento por un periodo de 2 h cada una, por un lapso total de 8 h con cada placa.

Las temperaturas de cada segmento fueron promediadas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación térmica de las distintas secciones analizadas.

**Evaluación de la variación térmica a la temperatura de la placa:**

- **Aluminio:**

  La Figura 38, muestra la temperatura promedio de la placa de aluminio sin pintura, con pintura y con nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

  La Figura 38 muestra que la temperatura de placa de aluminio sin pintar es de 313,15 K, debido a que su superficie se encuentra pulida y refleja gran parte de la radiación evitando de esta manera calentarse. Pero dicho efecto no es bueno para la salud, puesto que este reflejo puede dañar al sistema ocular y cegar momentáneamente, como también ocasionar daños hacia la piel, cuando la exposición es a menudo o muy prolongada, como cáncer a la piel, envejecimiento prematuro de la piel, manchas oscuras, etc.

  En cambio, al pintar la placa de aluminio con pintura, la temperatura promedio de la placa disminuye hasta 311, 65 K con 1 capa, 309, 65 K con 2 capas y baja a 308, 65 K con 3 capas, disminuyendo la temperatura a medida que se le añade el número de capas.

  Sin embargo, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$, la temperatura promedio es de 312,15 K con 1 capa, disminuye a 311, 65 K con 2 capas y 308,15 K con 3 capas. Demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg refleja parte de la

radiación visible-NIR y aún más, al aumentar el número de capas, haciendo que la temperatura de la placa disminuya y no se caliente.

También, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio es de 312,15 K con 1 capa, 311,65 K con 2 capas y 310,15 K con 3 capas. Demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR sin haber mucha variación de temperatura, pero de igual manera, haciendo que la temperatura de la placa disminuya mínimamente y no se caliente.

No obstante, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$, la temperatura promedio disminuye a 308,15 K con 1 capa, aumenta mínimamente a 309,65 K con 2 capas y baja a 308, 65 K con 3 capas. Demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg refleja parte de la radiación visible-NIR.

Finalmente, con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (con un rango promedio de 94,93 % de reflectividad) con 3 capas y con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (con un rango promedio de 80,66 % de reflectividad) con 1 capa, se obtiene los mejores resultados de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que la placa de aluminio disminuya su temperatura, no se caliente y a la vez que con 3 capas solo es necesario la mínima cantidad de pintura/$NiTiO_3$ (100 mg) como también con sólo 1 capa de pintura/$NiTiO_3$ (500 mg), para obtener una mejor temperatura de confort.

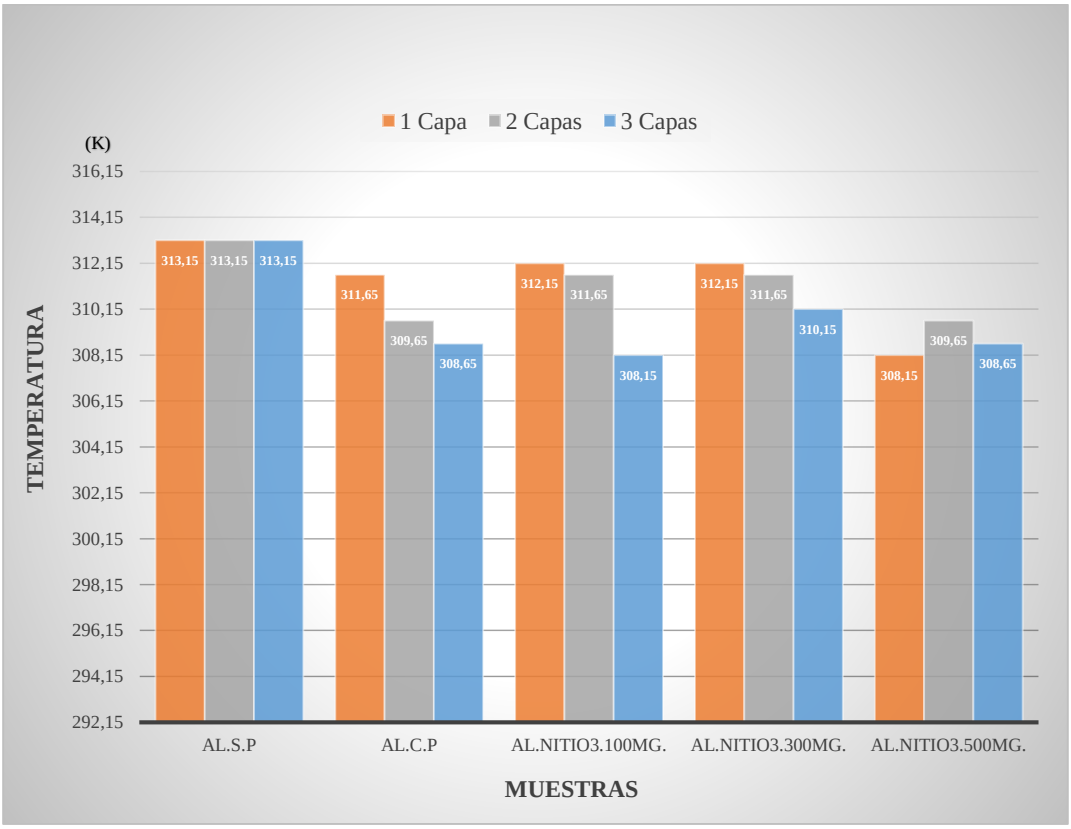



Figura 38. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero inoxidable 304:**

La Figura 39, muestra la temperatura promedio de la placa de acero inoxidable 304 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 39 muestra que la temperatura de placa de acero inoxidable 304 sin pintar es de 317,15 K, debido a que el acero inoxidable 304 se muestra su capacidad

para reflejar la luz o emitir brillo, a medida en la que el acero inoxidable 304 es aleado con un mayor porcentaje de aluminio, e igualmente que el aluminio, este reflejo afectaría a nuestra salud.

En cambio, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura, la temperatura promedio de la placa disminuye a 311,15 K con 1 capa, 308,15 K con 2 capas y 306,65 K con 3 capas, disminuyendo la temperatura sobre todo al añadirse la 3ra capa.

Sin embargo, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio es de 311,15 K con 1 capa, disminuye a 308,15 K con 2 capas y 307,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR y aún más, al aumentar el número de capas, haciendo que la temperatura de la placa disminuya y no se caliente.

También al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ 300 mg, la temperatura promedio es de 309,15 K con 1 capa, 308,15 K con 2 capas y 306,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ 300 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR, haciendo aún más que la temperatura de la placa disminuya y no se caliente.

No obstante, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio disminuye a 309,15 K con 1 capa, se mantenga a

309,15 K con 2 capas y baje a 307,65 K con 3 capas. Demostrando que con la pintura y 500 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR.

Finalmente, la placa de acero inoxidable 304 con pintura (con un rango promedio de 78,79 % de reflectividad) con 3 capas como también la pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad) con 3 capas, se obtiene los mejores resultados de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que la temperatura de la placa de acero inoxidable 304 disminuya, no se caliente y a la vez que con 3 capas de sólo pintura como también con 3 capas de pintura/$NiTiO_3$ (300 mg), para obtener una temperatura de confort.

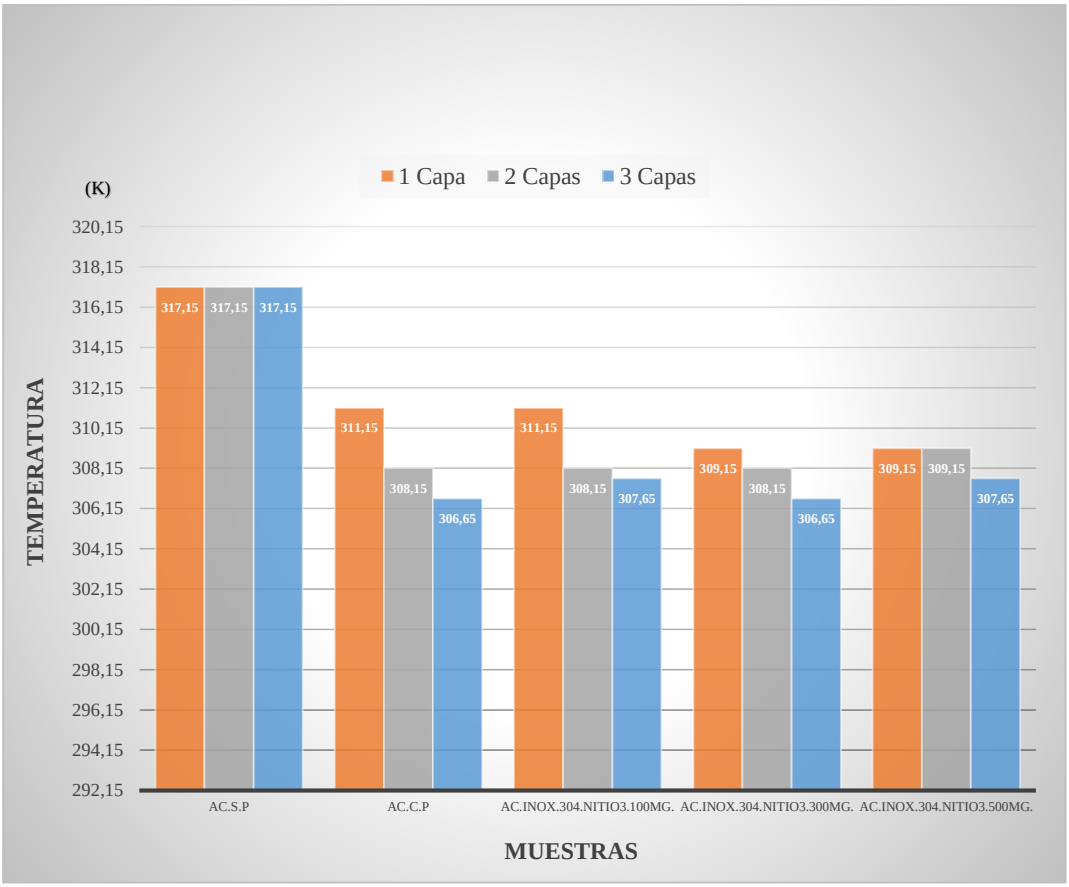



Figura 39. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero A36:**

La Figura 40 muestra la temperatura promedio de la placa de acero A36 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 40 muestra que la temperatura de placa de acero A36 sin pintar es de 322,65 K, debido a que el acero A36 es uno de los materiales que menos reflectancia posee, ya que en sus propiedades no es puro, son aleaciones de acero A36, por lo tanto, su reflejo de rayos UV-visibles no afectaría a nuestra salud, pero, sí al tener demasiado contacto con este metal.

En cambio, al pintar la placa de acero A36 con pintura, la temperatura promedio de la placa disminuye a 312,65 K con 1 capa, 307,65 K con 2 capas y aumenta mínimamente con 308, 65 K con 3 capas.

Sin embargo, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio es de 310,65 K con 1 capa, disminuye a 309,15 K con 2 capas y 307,65 K con 3 capas. Demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR al aumentar el número de capas, haciendo que la temperatura de la placa disminuya y no se caliente.

También al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio es de 310,65 K con 1 capa, 307,65 K con 2 capas y 307,15 K con 3 capas. Demostrando que la pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR haciendo que la temperatura de la placa disminuya mínimamente y no se caliente.

No obstante, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio disminuye a 307,15 K con 1 capa, se mantenga a 307,15 K con 2 capas y aumente ligeramente a 308,15 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR, sin haber demasiada variación de temperaturas entre las capas, pero de igual manera haciendo que la temperatura de placa de acero A36 disminuya y no se caliente.

Finalmente, la pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (con un rango promedio de 86,04 % de reflectividad) con 3 capas, la pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (con un rango promedio de 74,32 % de reflectividad) con 1 capa y con la pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (con un rango promedio de 78,40 % de reflectividad) con 2 capas, se obtiene un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que la temperatura de la placa de acero A36 disminuya, no se caliente para obtener una temperatura de confort.

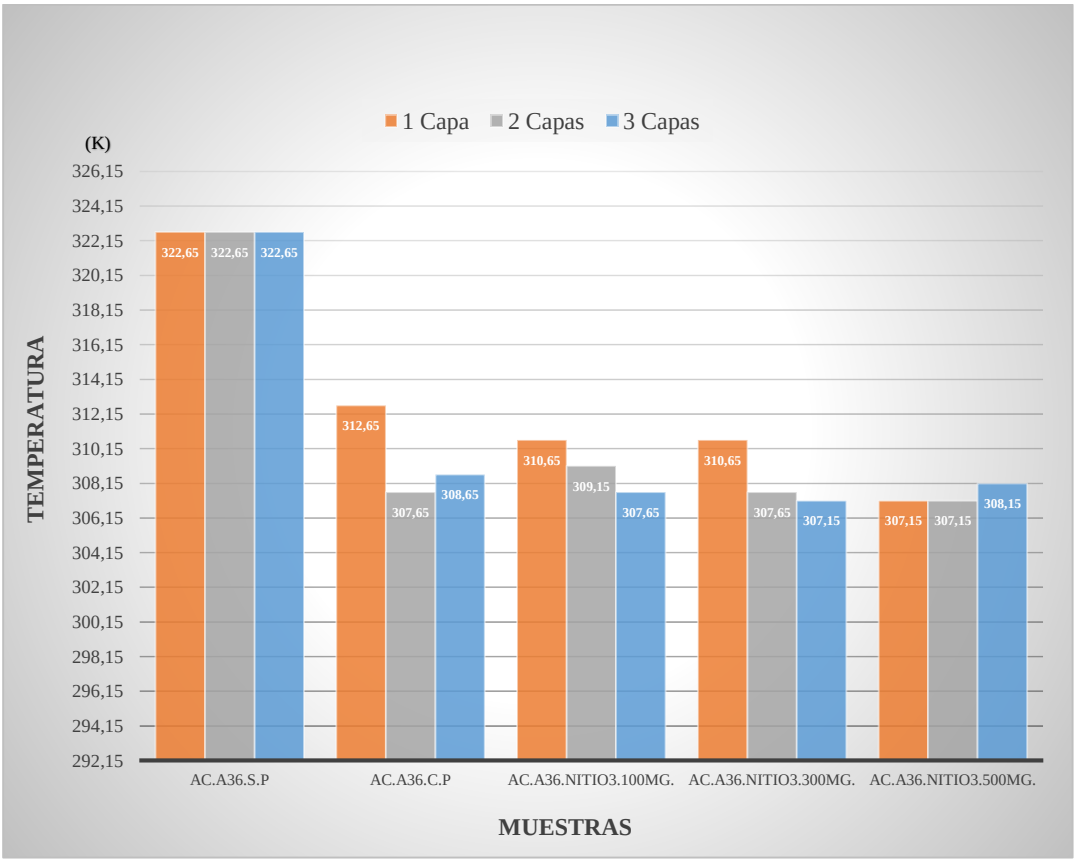



Figura 40. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas de la placa
Fuente: Elaboración propia.

**Evaluación de la variación térmica reflejada:**

- **Aluminio:**

La Figura 41 muestra la temperatura promedio reflejada de la placa de aluminio sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 41 muestra que la temperatura reflejada de placa de aluminio sin pintar es de 300,65 K, debido a que su superficie se encuentra pulida y refleja gran parte de la radiación evitando de esta manera calentarse. Pero dicho efecto no es bueno para la salud, puesto que este reflejo puede dañar al sistema ocular y cegar momentáneamente, como también ocasionar daños hacia la piel, cuando la exposición es a menudo o muy prolongada, como cáncer a la piel, envejecimiento prematuro de la piel, manchas oscuras, etc.

En cambio, al pintar la placa de aluminio con pintura, la temperatura promedio reflejada de la placa es de 300,65 K con 1 capa, baja a 299,65 K con 2 capas y se mantiene a 299,65 K con 3 capas, disminuyendo y manteniéndose sin haber mucha variación de temperatura.

Sin embargo, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$, la temperatura promedio reflejada aumenta a 301,65 K con 1 capa, 302,15 K con 2 capas y disminuye a 300,15 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR, habiendo cierta variación de temperaturas debido a que la temperatura ambiente variaba y no siempre era a 292,15 K.

También al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio es de 301,15 K con 1 capa, baja a 299,15 K con 2 capas y

aumenta mínimamente a 300,65 K con 3 capas. Demostrando que con la pintura y 300 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR, habiendo cierta variación de temperaturas debido a que la temperatura ambiente variaba y no siempre era a 292,15 K.

No obstante, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ 500 mg, la temperatura promedio disminuye a 299,15 K con 1 capa, aumente ligeramente a 299,65 K con 2 capas y se mantenga a 299,65 K con 3 capas. Demostrando que la pintura y 500 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR, siendo mínima la variación de temperaturas debido a que la temperatura ambiente variaba y no siempre era a 292,15 K.

Finalmente, la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (con un rango promedio de 87,51 % de reflectividad) con 2 capas, se obtiene un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible debido a que tiene la mayor temperatura promedio reflejada, haciendo que la temperatura dentro de la caja sea menor y no se caliente para obtener una temperatura de confort.

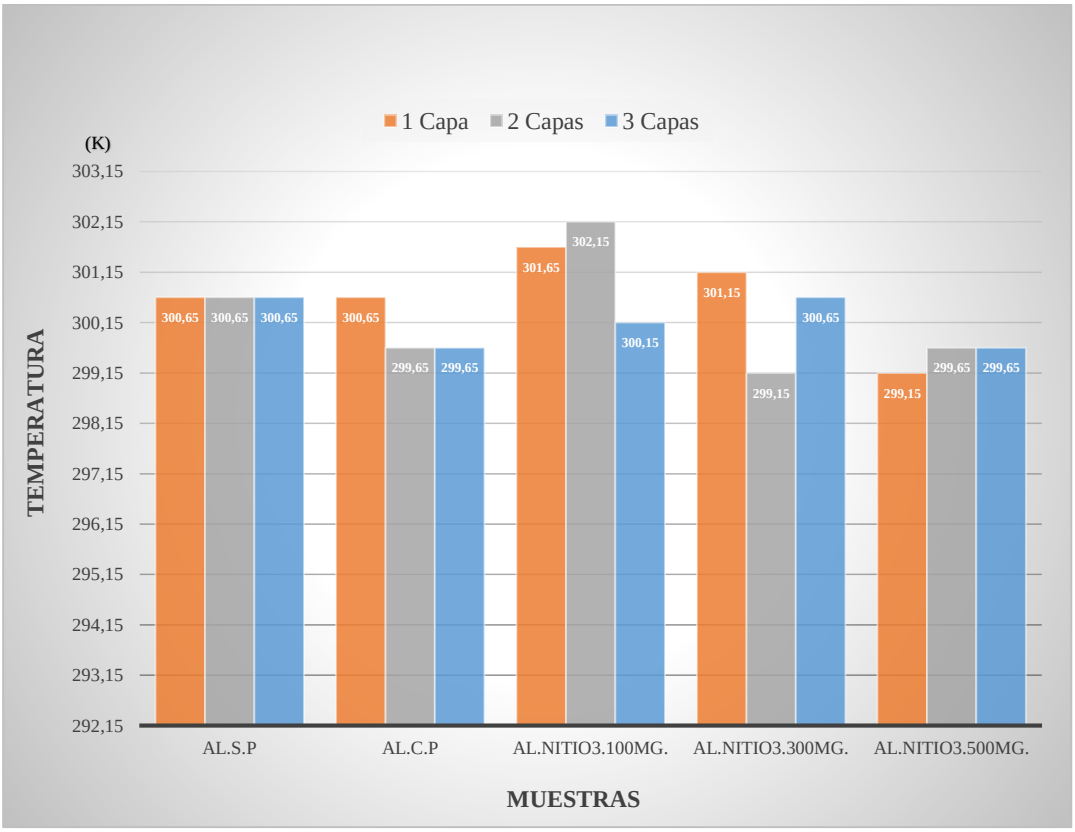



Figura 41. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero inoxidable 304:**

La Figura 42 muestra la temperatura promedio de la placa de acero inoxidable 304 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 42 muestra que la temperatura reflejada de placa de acero inoxidable 304 sin pintar es de 301,15 K, debido a que el acero inoxidable 304 se muestra su

capacidad para reflejar la luz o emitir brillo, a medida en la que el acero inoxidable 304 es aleado con un mayor porcentaje de aluminio, e igualmente que el aluminio, este reflejo afectaría a nuestra salud.

En cambio, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura, la temperatura promedio reflejada de la placa es de 301,15 K con 1 capa, baja a 300,65 K con 2 capas y a 299,65 K con 3 capas, disminuyendo la temperatura reflejada a medida que se le añade el número de capas, sin haber mucha variación de temperatura.

Sin embargo, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio reflejada es de 301,15 K con 1 capa, disminuye a 300,65 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas, igualmente disminuyendo la temperatura reflejada a medida que se le añade el número de capas.

También al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio reflejada es de 300,15 K con 1 capa, 300,65 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas, manteniéndose la temperatura promedio reflejada y habiendo cierta variación de temperaturas debido a que temperatura ambiente variaba y no siempre era a 292,15 K.

No obstante, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio disminuye a 300,15 K con 1 capa, 300,15 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas.

Finalmente, la placa de acero inoxidable 304 con sólo pintura (con un rango promedio de 77,88 % de reflectividad) con 1 capa y con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (con un rango promedio de 74,21 % de reflectividad) con 1 capa, se obtiene un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible debido a que tienen la mayor temperatura promedio reflejada, haciendo que la temperatura dentro de la caja sea menor y no se caliente para obtener una temperatura de confort.

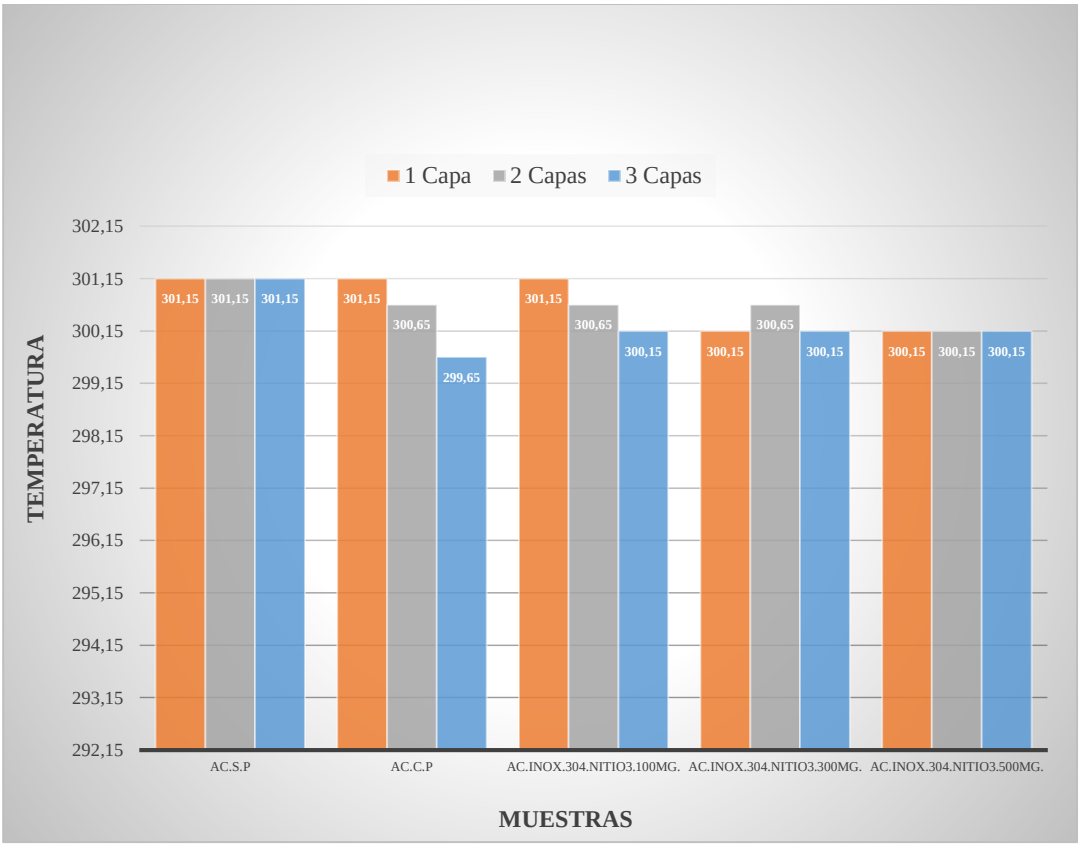



Figura 42. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero A36:**

La Figura 43 muestra la temperatura promedio de la placa de acero A36 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 43 muestra que la temperatura reflejada de placa de acero A36 sin pintar es de 301,15 K, debido a que el acero A36 es uno de los materiales que menos reflectancia posee, ya que en sus propiedades no es puro, son aleaciones de acero A36, por lo tanto, su reflejo de rayos UV-visibles no afectaría a nuestra salud, pero, si al tener demasiado contacto con este metal.

En cambio, al pintar la placa de acero A36 con pintura, la temperatura promedio reflejada de la placa incrementa hasta 302,15 K con 1 capa, baja 300,15 K con 2 capas y 300,65 K con 3 capas, aumentando la temperatura reflejada cuando sólo tiene 1 capa de pintura, sin haber mucha variación de temperatura.

Sin embargo, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio reflejada es de 300,65 K con 1 capa, 300,65 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas, manteniendo la misma temperatura de reflectancia.

También al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio reflejada es de 300,65 K con 1 capa, 299,65 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas, manteniendo la misma temperatura de reflectancia.

No obstante, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio reflejada es de 299,65 K con 1 capa, 299,65 K con 2 capas y 300,15 K con 3 capas, manteniendo la misma temperatura de reflectancia.

Finalmente, la placa de acero A36 con sólo pintura (con un rango promedio de 87,62 % de reflectividad) con 1 capa, se obtiene un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible debido a que tiene la mayor temperatura promedio reflejada, haciendo que la temperatura dentro de la caja sea menor y no se caliente para obtener una temperatura de confort.

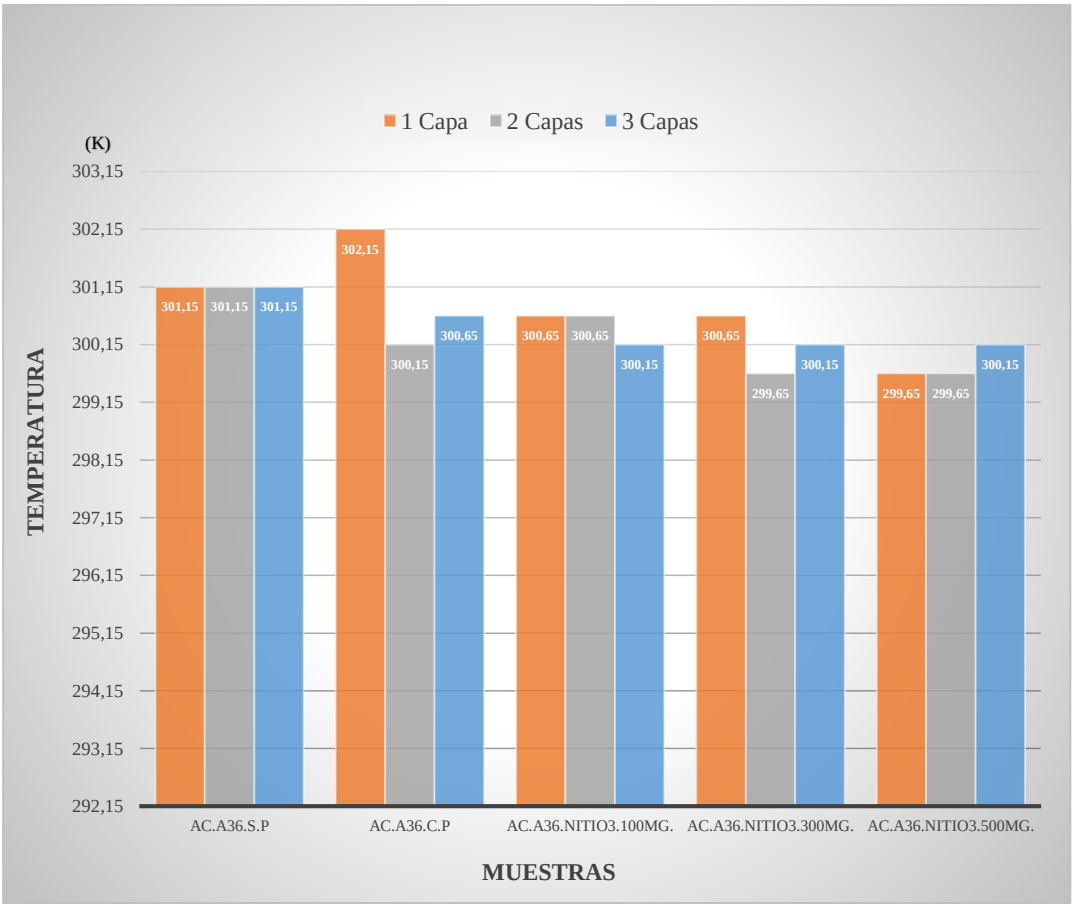



Figura 43. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas reflejadas.
Fuente: Elaboración propia.

**Evaluación de la variación térmica a la mitad de la caja:**

- **Aluminio:**

La Figura 44 muestra la temperatura promedio a la mitad de la caja al emplear las placas de aluminio sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 44 muestra que la temperatura a mitad de la caja con la placa de aluminio sin pintar es de 301,15 K, debido a que su superficie se encuentra pulida y refleja gran parte de la radiación evitando de esta manera calentarse. Pero dicho efecto no es bueno para la salud, puesto que este reflejo puede dañar al sistema ocular y cegar momentáneamente, como también ocasionar daños hacia la piel, cuando la exposición es a menudo o muy prolongada, como cáncer a la piel, envejecimiento prematuro de la piel, manchas oscuras, etc.

En cambio, al pintar la placa de aluminio con pintura, la temperatura promedio dentro de la caja disminuye hasta 300,65 K con 1 capa, 299,65 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas, disminuyendo la temperatura sin haber mucha variación de temperatura.

Sin embargo, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio disminuye a 299,65 K con 1 capa, aumenta a 300,65 K con 2 capas y disminuye a 298,65 K con 3 capas. Demostrando que la pintura y 100 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR y aún más, al aumentar el número a 3 capas, haciendo que la temperatura a la mitad de la caja disminuya y no se caliente a comparación de cuando solo tiene pintura.

También al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio es de 301,15 K con 1 capa, 298,65 K con 2 capas y 300,15 K

con 3 capas, habiendo cierta variación de temperaturas debido a que la temperatura ambiente variaba y no siempre era a 292,15 K.

No obstante, al pintar la placa de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio disminuye a 298,15 K con 1 capa, 299,15 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR y basta con sólo 1 capa para hacer que la temperatura a la mitad de la caja disminuya y no se caliente.

Finalmente, la placa de aluminio pintada con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (con un rango promedio de 80,66 % de reflectividad) con 1 capa, se obtiene un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que el ambiente a la mitad de la caja disminuya, no se caliente y a la vez que la pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg solo es necesario 1 capa, para obtener una temperatura de confort.

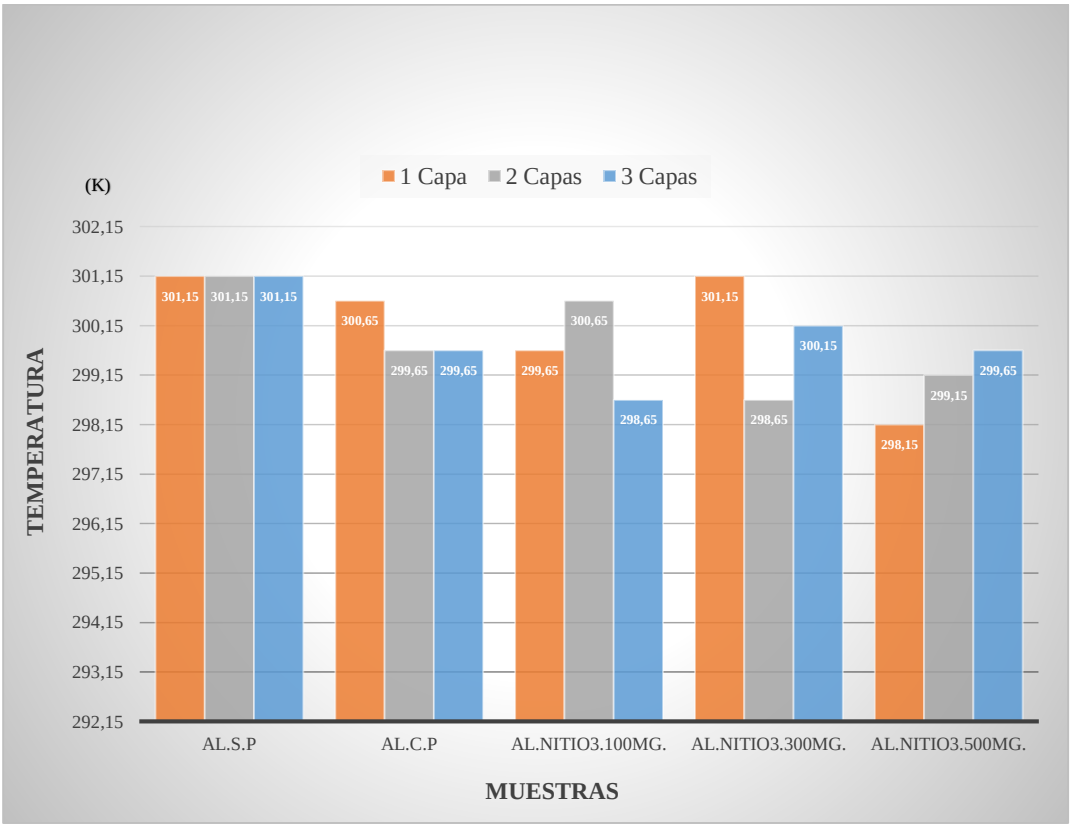



Figura 44. Muestra de aluminio sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero inoxidable 304:**

La Figura 45 muestra la temperatura promedio a la mitad de la caja al emplear las placas de acero inoxidable 304 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 45 muestra que la temperatura a mitad de la caja con la placa de acero inoxidable 304 sin pintar es de 301,65 K, debido a que el acero inoxidable 304

se muestra su capacidad para reflejar la luz o emitir brillo, a medida en la que el acero inoxidable 304 es aleado con un mayor porcentaje de aluminio, e igualmente que el aluminio, este reflejo afectaría a nuestra salud.

En cambio, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura, la temperatura promedio dentro de la caja es de 301,65 K con 1 capa, 300,15 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas, disminuyendo mínimamente la temperatura a medida que se le añade el número de capas, manteniéndose sin haber mucha variación de temperatura.

Sin embargo, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg, la temperatura promedio es de 301,15 K con 1 capa, 299,15 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas, disminuyendo la temperatura promedio al aumentar el número de capas sin haber mucha variación en la 2da y 3ra capa.

También al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio disminuye a 299,15 K con 1 capa, 299,65 K con 2 capas y 299,15 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR, sin haber mucha variación de temperatura.

No obstante, al pintar la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio es de 300,15 K con 1 capa, 300,15 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, refleja

parte de la radiación visible-NIR, sin haber mucha variación de temperatura.

Finalmente, la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (con un rango promedio de 76,73 % de reflectividad) con 2 capas, con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (con un rango promedio de 73,18 % de reflectividad) con 1 capa y con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad) con 3 capas se obtiene los mejores resultados de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que el ambiente a la mitad de la caja disminuya, para obtener una temperatura de confort.

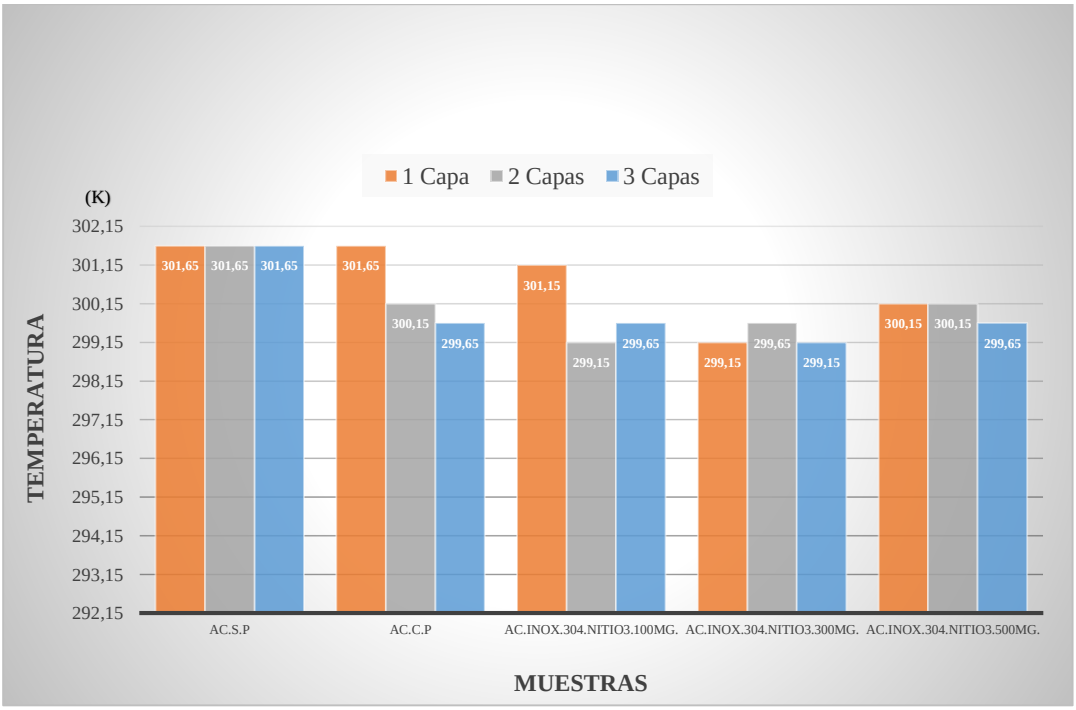



Figura 45. Muestra de acero inoxidable 304 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa
Fuente: Elaboración propia.

- **Acero A36:**

La Figura 46 muestra la temperatura promedio a la mitad de la caja al emplear las placas de acero A36 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas.

La Figura 46 muestra que la temperatura a mitad de la caja con la placa de acero A36 sin pintar es de 303,15 K, debido a que el acero A36 es uno de los materiales que menos reflectancia posee, ya que en sus propiedades no es puro, son aleaciones de acero A36, por lo tanto, su reflejo de rayos UV-visibles no afectaría a nuestra salud, pero sí tener mucho contacto con este metal.

En cambio, al pintar la placa de acero A36 con pintura, la temperatura promedio dentro de la caja es de 302,65 K con 1 capa, disminuye a 300,65 K con 2 capas y se mantiene sin haber mucha variación a 300,65 K con 3 capas.

Sin embargo, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg de $NiTiO_3$, la temperatura promedio disminuye a 300,65 K con 1 capa, 300,15 K con 2 capas y 299,15 K con 3 capas. Demostrando que con la pintura y 100 mg de $NiTiO_3$ refleja parte de la radiación visible-NIR, y disminuye la temperatura al aumentar el número de capas, haciendo que la temperatura a la mitad de la caja disminuya y no se caliente.

También al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, la temperatura promedio disminuye a 301,65 K con 1 capa, 299,15 K con 2 capas y 299,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR, sin haber mucha variación de temperatura entre su 2do y 3er número de capas.

No obstante, al pintar la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, la temperatura promedio es de 299,15 K con 1 capa, 300,15 K con 2 capas y 300,65 K con 3 capas. Demostrando que con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg, refleja parte de la radiación visible-NIR.

Finalmente, la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg (con un rango promedio de 87,08 % de reflectividad) con 3 capas, con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg (con un rango promedio de 71,84 % de reflectividad) con 2 capas y con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg (con un rango promedio de 74,82 % de reflectividad) con 1 capa se obtiene los mejores resultados de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que el ambiente a la mitad de la caja disminuya, para obtener una temperatura de confort.

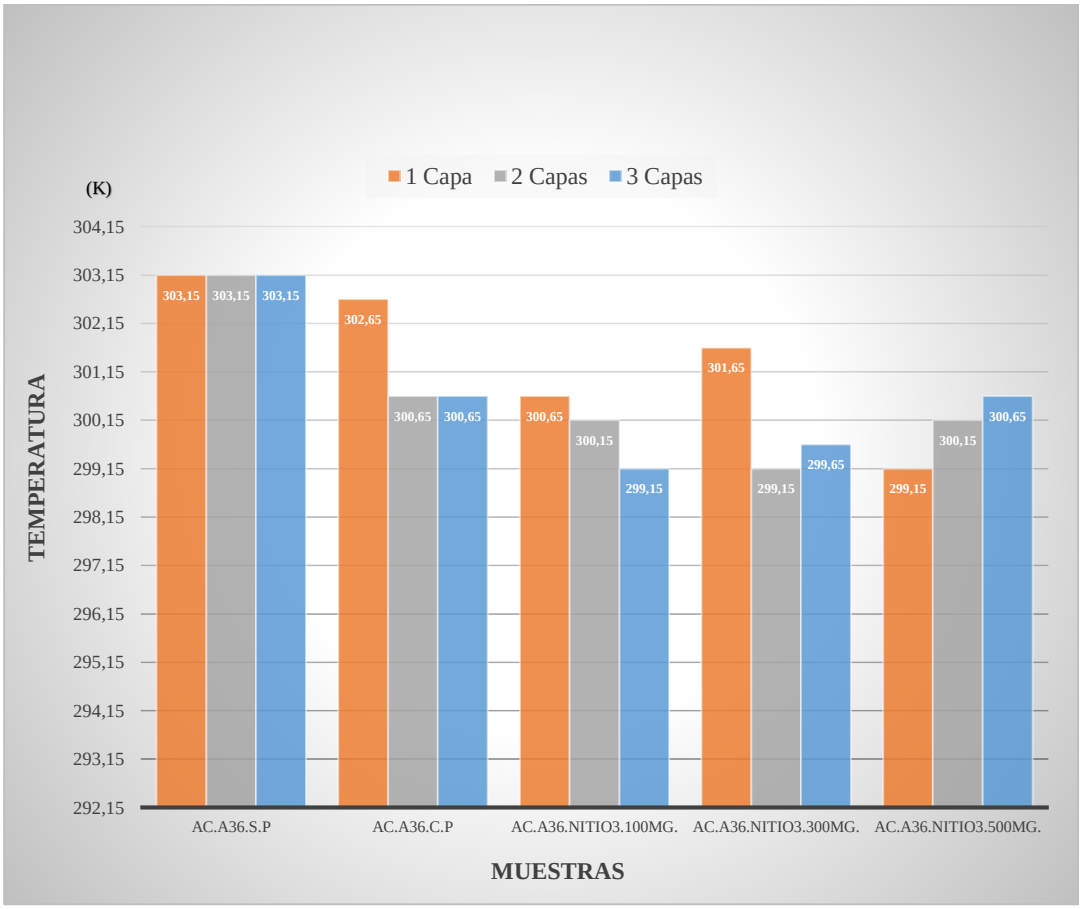



Figura 46. Muestra de acero A36 sin pintar y recubiertas con pintura/$NiTiO_3$ con 1, 2 y 3 capas y sus temperaturas a la mitad de la placa
Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO V

## DISCUSIONES

Con respecto a los estudios realizados en el artículo de investigación, del tema de "Síntesis, caracterización y reflectancia NIR de los pigmentos compuestos $NiTiO_3$ y $NiTiO_3/TiO_2$ altamente dispersos", (Tong Y., Fu J., Chen Z., 2016). La muestra compuesta $NiTiO_3$ /$TiO_2$ procesa una mayor reflectancia NIR de aproximadamente 89,7 %. También, los pigmentos obtenidos no abarcan ningún elemento metálico tóxico y pueden usarse en la aplicación de recubrimiento de superficie como colorantes fríos. Y en los resultados obtenidos en la presente investigación aplicada, con la muestra de aluminio, se obtuvo un mayor índice de reflectancia, con un rango promedio de 94,93 % de reflectividad al añadirle la menor cantidad de pintura y $NiTiO_3$ (100 mg). En el caso de la muestra de acero inoxidable 304 al añadirle más capas de pintura y $NiTiO_3$ (3 capas), con una moderada cantidad del compuesto $NiTiO_3$ (300 mg), se obtuvo mayor reflectividad con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad. Y finalmente la muestra de acero A36, al añadirle la pintura/$NiTiO_3$, no hay mucha diferencia en su reflectividad que cuando sólo tiene pintura, cuando se le da más número de capas sobre la placa de acero A36.

Con respecto a los estudios realizados en el artículo de investigación, del tema de "Síntesis y caracterización del nano pigmento amarillo $NiTiO_3$ con alta eficiencia de reflexión de la radiación solar", (Jian-Lei W., Yuan-Qing L., Young-Ji B., 2012). La reflectancia promedio de $NiTiO_3$-873,15 K y $NiTiO_3$-1073,15 K en NIR es 62,1 % y 58,8 %, respectivamente. Y las nanopartículas de $NiTiO_3$ amarillas pueden servir como un excelente pigmento frío para la construcción de techos y recubrimiento de fachadas.

Y en los resultados obtenidos en la presente investigación aplicada, en cuanto a temperatura de confort a nivel de laboratorio de 296,15 K a 298,15 K, la muestra de aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg y 1 capa, llega a estar en el rango de confort térmico con 298,15 K.

En el caso de la muestra de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg y 2 capas, con 299,15 K ya que se encuentra a 1 K por encima de la temperatura de confort. Y finalmente la muestra de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg y 3 capas, con 299,15 K ya que se encuentra a 1 K por encima de la temperatura de confort.

Demostrando también que las nanopartículas de $NiTiO_3$ con pintura sirven para tener una temperatura de confort en containers para oficinas. Y dichos resultados se muestran a continuación:

**Temperatura de confort a la mitad de la caja con la muestra de aluminio:**

Al obtenerse los resultados de las temperaturas promedio a la mitad de la caja, al emplear las placas de aluminio sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas, se estandarizó a la temperatura de confort a nivel de laboratorio de 296,15 K a 298,15 K dentro de una infraestructura (containers) como se observa en la Figura 47.

Dando como resultado que, para las placas de aluminio, la temperatura más elevada a la mitad de la caja es de 301,15 K y la cual corresponde al aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg y 1 capa, con 3 K por encima de la temperatura de confort. Sin embargo, la placa de aluminio con mejor resultado de temperatura a la mitad de la caja, es del aluminio con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg y 1 capa, ya que se encuentra dentro de la temperatura de confort. Siendo la mejor opción en recubrimiento reflectivo, reduciendo elevado costo de los combustibles fósiles, así como su constante incremento para cubrir la demanda eléctrica en los campamentos.




Figura 47. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de aluminio y la temperatura de confort a nivel de laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.

**Temperatura de confort a la mitad de la caja con la muestra de acero inoxidable 304:**

Al obtenerse los resultados de las temperaturas promedio a la mitad de la caja, al emplear las placas de acero inoxidable 304 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas, y lo ya mencionado anteriormente en los resultados del aluminio, se observa las temperaturas de confort a nivel de laboratorio en la Figura 48.

La temperatura más elevada a la mitad de la caja es de 301,65 K y fue del acero inoxidable 304 sin pintura y el acero inoxidable 304 con pintura y 1 capa con 3,5 K por

encima de la temperatura de confort. Sin embargo, la placa de acero inoxidable 304 con mejor resultado de temperatura a la mitad de la caja es del acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg y 2 capas, con 299,15 K ya que se encuentra a 1 K por encima de la temperatura de confort. Siendo de igual forma la mejor opción en recubrimiento reflectivo, ya que se obtiene un mejor resultado con una mínima cantidad de $NiTiO_3$, a comparación del acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg y 1 capa y del acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg y 3 capas. De igual forma reduciría el elevado costo de los combustibles fósiles, así como su constante incremento para cubrir la demanda eléctrica en los campamentos.

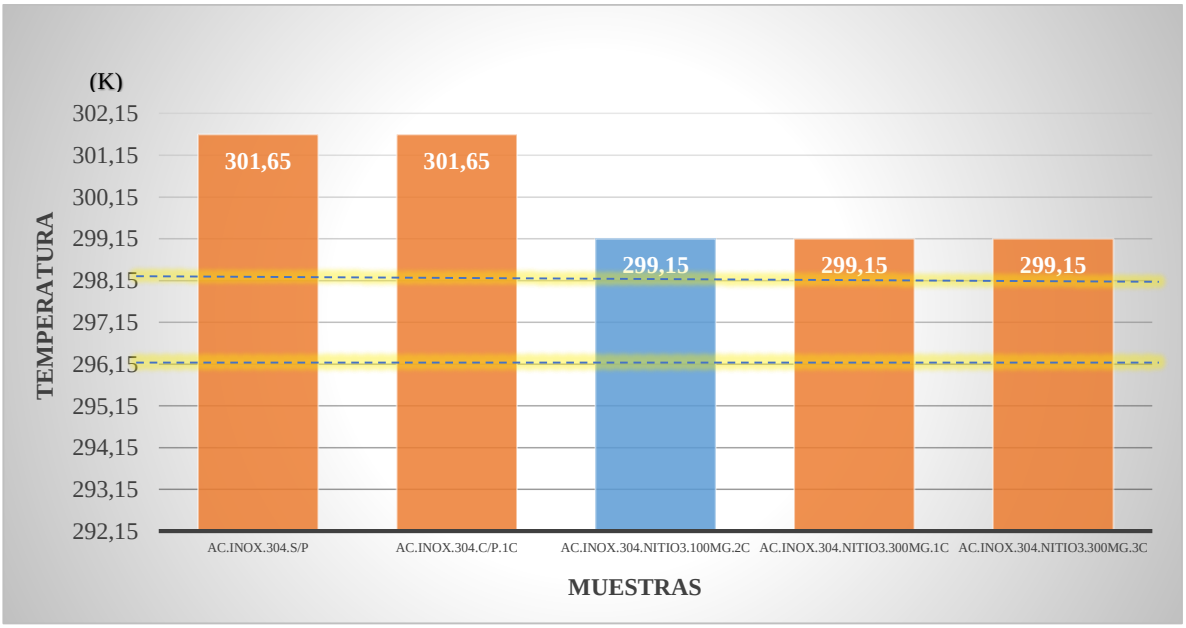



Figura 48. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de acero inoxidable 304 y la temperatura de confort a nivel de laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.

**Temperatura de confort a la mitad de la caja con la muestra de acero A36:**

Al obtenerse los resultados de las temperaturas promedio a la mitad de la caja, al emplear las placas de acero A36 sin pintura, con pintura y con las nanopartículas de $NiTiO_3$ en distintos porcentajes y número de capas, y lo ya mencionado anteriormente en los resultados del aluminio, se observa las temperaturas de confort a nivel de laboratorio en la Figura 49.

La temperatura más elevada a la mitad de la caja es de 303,15 K y fue del acero A36 sin pintura con 5 K por encima de la temperatura de confort. Sin embargo, la placa de acero A36 con mejor resultado de temperatura a la mitad de la caja es del acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg y 3 capas, con 299,15 K ya que se encuentra a 1 K por encima de la temperatura de confort. Siendo de igual forma la mejor opción en recubrimiento reflectivo, ya que se obtiene un mejor resultado con una mínima cantidad de $NiTiO_3$, a comparación del acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 300 mg y 2 capas y del acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg y 1 capa. De igual forma reduciría el elevado costo de los combustibles fósiles, así como su constante incremento para cubrir la demanda eléctrica en los campamentos.

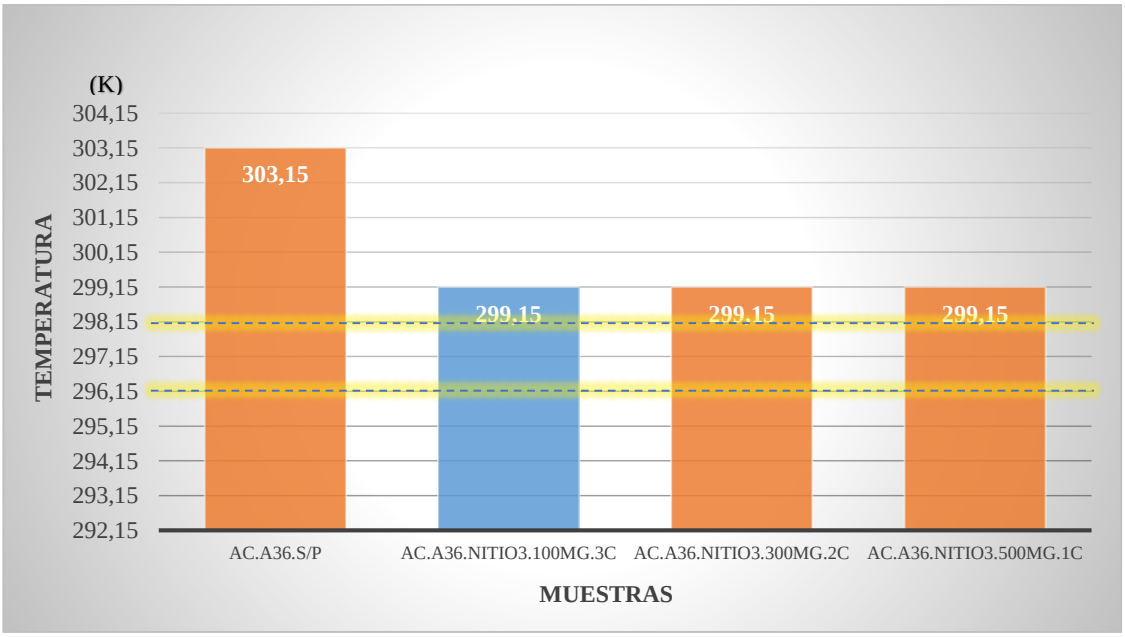



Figura 49. Máximas y mínima temperatura promedio del recubrimiento sobre la placa de acero inoxidable 304 A36 y la temperatura de confort a nivel de laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en cuanto a los costos, va depender del tamaño del container de oficina. Por ejemplo para mantener la temperatura de confort dentro de un container de 40 $ft^3$, como mínimo se necesita un sistema de aire acondicionado de 10 000 BTU (2,93 KW), para lo cual se necesitarían 1,2 L/h de petróleo o gasolina, por lo tanto de manera diaria en una jornada de 8 h se estaría consumiendo 9,6 L de combustible, y mensualmente 288 L, lo que económicamente representa un S/ 1065,60, que además de ser un gasto, dicho monto se incrementará de acuerdo al tiempo de ejecución del

proyecto (1 año = S/ 12 787,20) y la cantidad de containers que se empleen como oficinas para este propósito (10 oficinas = S/ 120 787,20 por año).

Sin embargo, la pintura /$NiTiO_3$, el costo del galón de pintura sería S/ 80 y su base a S/ 60 (para este tipo de aplicaciones, especial para metales como containers), y su rendimiento sería de 40-45 $m^2$/Gal (más que suficiente para 1 container de oficina), su duración a 2 años aproximadamente. Así también, el consto de producción del $NiTiO_3$ tiene un costo elevado a nivel de laboratorio, en cuanto su producción en cantidad asi como el uso de reactivos de uso técnico disminuiría su costo considerablemente, hasta alcanzar un costo de S/ 5,00 hasta S/ 1,00 por gramo, lo que sería a S/ 66,50 aprox. el $NiTiO_3$ por galón (siendo 100 mg/ $NiTiO_3$ por 30 ml de pintura), lo que alcanzaría como para 1 container y para 10 el costo sería de S/ 660,50 aproximadamente.

Finalmente, todos los datos obtenidos en los resultados, se observa en la Tabla 8:

**Tabla 8**

*Resultados obtenidos.*

| BLOQUE | Concentración de $NiTiO_3$ (mg) | Número de capas (Nº de veces) | Tipo de material (Tipo) | Reflexión de la radiación solar (%reflexión) | Disminución de temp. (K) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 1 | Acero inoxidable 304 | 74,21 | 273,65 |
| 2 | 100 | 1 | Acero A36 | 79,04 | 275,65 |
| 3 | 100 | 1 | Aluminio | 75,11 | 274,65 |
| 4 | 100 | 2 | Acero inoxidable 304 | 76,73 | 275,65 |
| 5 | 100 | 2 | Acero A36 | 82,38 | 276,15 |
| 6 | 100 | 2 | Aluminio | 87,51 | 273,65 |
| 7 | 100 | 3 | Acero inoxidable 304 | 83,06 | 275,15 |
| 8 | 100 | 3 | Acero A36 | 87,08 | 277,15 |
| 9 | 100 | 3 | Aluminio | 94,93 | 275,65 |
| 10 | 300 | 1 | Acero inoxidable 304 | 73,18 | 275,65 |
| 11 | 300 | 1 | Acero A36 | 56,31 | 274,65 |
| 12 | 300 | 1 | Aluminio | 72,53 | 273.15 |
| 13 | 300 | 2 | Acero inoxidable 304 | 79,18 | 275,15 |
| 14 | 300 | 2 | Acero A36 | 71,84 | 275,15 |
| 15 | 300 | 2 | Aluminio | 82,62 | 275,65 |

Continuación de la Tabla 8

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 300 | 3 | Acero inoxidable 304 | 88,41 | 275,65 |
| 17 | 300 | 3 | Acero A36 | 86,04 | 276.65 |
| 18 | 300 | 3 | Aluminio | 84,43 | 274.15 |
| 19 | 500 | 1 | Acero inoxidable 304 | 76,03 | 274,65 |
| 20 | 500 | 1 | Acero A36 | 74,32 | 275,15 |
| 21 | 500 | 1 | Aluminio | 80,66 | 276,15 |
| 22 | 500 | 2 | Acero inoxidable 304 | 79,81 | 274,65 |
| 23 | 500 | 2 | Acero A36 | 78,40 | 276,15 |
| 24 | 500 | 2 | Aluminio | 82,26 | 275,15 |
| 25 | 500 | 3 | Acero inoxidable 304 | 82,33 | 275,15 |
| 26 | 500 | 3 | Acero A36 | 83,38 | 275,65 |
| 27 | 500 | 3 | Aluminio | 84,23 | 274,65 |

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Se logró desarrollar el compuesto con nanopartículas de $NiTiO_3$ que es capaz de reflejar la radiación infrarroja, disminuyendo la temperatura para mejorar el confort térmico dentro de los containers en los campamentos.

Se ha caracterizado las muestras de las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante la difracción de rayos X, encontrándose que el 100 % de las muestras presentan la fase ilmenita con un tamaño de cristalito de 37,4 nm.

También se ha caracterizado las muestras de las nanopartículas de $NiTiO_3$ mediante la espectroscopia UV-visible obteniéndose que este material tiende a reflejar desde 400 a más nanómetros las longitudes de onda.

Se han caracterizado distintas superficies (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) y la pintura depositada con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ y a su vez con capas de pintura mediante espectroscopia UV-visible, obteniéndose que, para el caso del aluminio se obtuvo un mayor índice de reflectancia (con un rango promedio de 94,93 % de reflectividad) al añadirle la menor cantidad de pintura y $NiTiO_3$ (100 mg), pero con el mayor número de capas (3 capas).

En el caso del acero inoxidable 304 se muestra que al añadirle más capas de pintura y $NiTiO_3$ (3 capas) sobre el acero inoxidable 304, con una moderada cantidad del compuesto $NiTiO_3$ (300 mg), se obtuvo mayor reflectividad (con un rango promedio de 88,41 % de reflectividad). Y finalmente, el acero A36 al añadirle la pintura/$NiTiO_3$, no hay mucha diferencia en su reflectividad que cuando sólo tiene pintura, cuando se le da más número de capas sobre la placa de acero A36.

Se han evaluado distintos materiales (aluminio, acero inoxidable 304 y acero A36) con la pintura depositada y con distintos porcentajes de $NiTiO_3$ y a su vez con capas de pintura mediante espectroscopia UV-visible, obteniéndose que, la placa de aluminio pintada con pintura/$NiTiO_3$ de 500 mg con 1 capa (con una temperatura de 298,15 K y un rango promedio de 80,66 % de reflectividad). En el caso de la placa de acero inoxidable 304 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg con 2 capas (con una temperatura de 299,15 K y un rango promedio de 76,73 % de reflectividad). Y finalmente, en el caso de la placa de acero A36 con pintura/$NiTiO_3$ de 100 mg con 3 capas (con una temperatura de 299,15 K y un rango promedio de 87,08 % de reflectividad), se obtiene también un buen resultado de reflectancia de los rayos UV-visible haciendo que el ambiente a la mitad de la caja disminuya, para obtener una temperatura de confort.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere hacer otros estudios relacionados con las nanopartículas de $NiTiO_3$, con otros distintos materiales, ya sean metálicos o no metálicos, que se requieran en distintos ambientes para una temperatura de confort.

Se recomienda hacer más de dos ensayos de temperaturas, para tener más resultados y conseguir una medición más exacta.

Para obtener buenos resultados, se recomienda también ser precisos en cuanto a las mezclas de los materiales y un ambiente propicio para la medición de temperaturas, y de esa forma evitar errores en los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Alcántara P. I., (2014). *Pinturas reflectantes. Tu socio de negocios.* Recuperado de http://apexperteam.blogspot.pe/2014/08/pinturas-reflectantes.html?m=1 Revisado el 2018-04-24

A. Ranade, *Synthesis and characterization of transparent oxide coatings with enhanced near infrared reflectance*, Doctor of Philosophy, Northwestern University, 2011. Revisado el 2019-01-21

Babu B., Edely M., Szade J., (2015). *Visible-light photocatalytic activity of nitrogen-doped NiTiO3 thin film prepared by co-sputtering process*. The Royal Society of Chemistry 2015, México. RSC Adv.,2015,5, 10551–10559. Recuperado de http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/ra/c4ra12516a Revisado el 2018-12-18

Baler, F. US 6989056 10/945515,2006 Revisado el 2019-01-15

Bendiganavale, A. K.; Malshe, V. C. Recent Patents on Chemical Engineering 2008,1,67. Revisado el 2019-01-18

Bolívar G. (2015). *Estructura Cristalina: Estructura, Tipos y ejemplos. Lifeder. Universidad de Carabobo*. Recuperado de https://www.lifeder.com/estructura-cristalina/
Revisado el 2018-12-18

Cabrera A. (2002). *Difracción de Bragg. Laboratorio de difracción de rayos X*. Facultad de Fisica. Pontificia Universidad de Chile. Recuperado de http://servicios.fis.puc.cl/rayosx/teoria.html
Revisado el 2018-04-24

Campins F., Querol P. (2012). *Aplicaciones del uso de la técnica de espectroscopía de reflectancia difusa en química forense para la caracterización de autenticidad de sellos de correos de España.* Catedrática de Química Analítica. Universidad de Valencia. Gac. int. cienc. forense ISSN 2174-9019. Recuperado de https://www.UV.es/GICF/4Ar6_Campins_GICF_05.pdf&ved=2ahUKEwj7hr27-lzfAhWi2FkKHejvC8YQFjAAegQlARAB&usg=AOvVaQ0luEiam24Bub5bBKfWERXL
Revisado el 06-12-18

Candia S. (2009). *Reflexión espectacular y difusa*. Física M. U.Chile, 2009. Recuperado de http://fisica1m.blogspot.com/2009/08/reflexion-especular.html
Revisado el 2018-12-18

Concha J. R., Universidad ICESI. Recuperado de www.icesi.edu.co/agenciadeprensa/contenido/pdfs/QUE %2520ES %2520UN %2520CONTENEDOR.pdf&ved=2ahUKEwiqwKHJ7orbAhUCvlMKHYBjCl8QFjALegQIAxAB&usg=AOvVaw3rmsNGHRhoZRBBU1rqJAPj
Revisado el 2018-05-15

C. R. Sutter, R. A. Petelinkar, R. E. Reeves, US20026468647, 2002.
Revisado el 22-01-2019

Dancg L. (2017). *Son beneficios o perjudiciales los componentes del espectro solar*. Tenemos respuestas a todas tus preguntas. Recuperado de https://brainly.lat/tarea/5735586
Revisado el 2018-04-24

Detrie, T.; Swiler, D. *In High performance pigments*; Faulkner, E. B., Schwartz, R. J., Eds.; Wiley - VCH: 2009; Vol. 2nd ed., p 467.
Revisado el 2019-01-18

El Comité científico de riesgos sanitarios emergentes y recientemente identificados (CCRSERI). (2009). Public Health Recuperado de https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/es/index.htm
Revisado el 2018-05-09

Fang, V.; Kenedy, J.; Futter, J.; Manning, J. 2013. *A review of infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures*, *GNS Science Report* 2013/39. 23 p.

Revisado el 2019-01-21

F. Yuan, P. Hu, C. Yin, S. Huang, J. Li, *Preparation and properties of zinc oxide nanopariticles coated with zinc aluminate*, Journal of Materials Chemistry, 13, 2003, 634-637.

Revisado el 2019-01-22

Herschel F. W., (2016). *¿Qué son y cómo funcionan los rayos infrarrojos?* Evoheat. Recuperado de http://www.sueloradianteevoheat.com/que-son-y-como-funcionan-los-rayos-infrarrojos/

Revisado el 2018-05-02

Horiguchi, S.; Ohira, S.; Abe, Y.; Zama, Y.; Saikatu, H EP 0211272,1987

Revisado el 2019-01-15

International Energy Agency, World Enery Outlook, 2010

Revisado el 2018-01-15

J. P. Rugh, et al, *Reduction in vehicle temperatures and fuel use from cabin ventilation, solarreflective paint, and a new solar-reflective glazing*, NREL/CR-540-40986, April 16-19, 2007, SAE World Congress, Detroit, Michigan.

Revisado el 2019-01-21

Jeevanandam, P.; Mulukutla, R. S.; Phillips, M.; Chaudhuri, S.; Erickson, L. E.; Klabunde, K. J. J. Phys. Chem. C 2007, 111, 1912
Revisado el 2019-01-15

Jian-Lei W., Yuan-Qing L., Young-Ji B., Shi-Gang M., Guang-Lei Z., (2012). *Synthesis and characterization of $NiTiO_3$ yellow nano pigment with high solar radiation reflection efficiency.* Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials. 2012. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2012.10.044
Revisado el 2018-12-06

Latin Press, (2014). *Revestimientos para techos frescos*. INPRA Latina. The spanish language Paint, coating & finishings magazine. Vol. 19 N°4,2014.(pag. 28-30)
Revisado el 2018-11-20

M. Baneshi, S. Maruyama, A. komiya, Solar Energy, 86, 2012, 200-217.
Revisado el 2019-01-21

Mandal A. (2016). *Morfología de las nanopartículas*. MedicaPage. Recuperado de https://medicapage.com/index.php?newsid=2187
Revisado el 2018-05-09

Martínez M., (Actualizado 2018). *Estructura de los cristales*. CSIC (Madrid-España). Recuperado de xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/
Revisado el 2018-12-18

Moezzi A., Michael B., Cortie (2012). *Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications.* ScienceDirect. Chemical Engineering Journal. Volumes 185-186, 15 March 2012, Pages 1-22. Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589471200099X
Revisado el 2018-05-09

N. Kiomarsipour, R. S. Razavi, K. Ghani, M. Kioumarsipour, *Evaluation of shape and size effects on optical properties of ZnO pigment, Applied Surface Science*, 270, 2013, 33-38.
Revisado el 2019-01-22

Ohgaki M., Tanaka K., Marumo F., Takei H (1988). *Electron-density distribution in ilmenite-type crystals III. Nickel (II) titanium (IV) trioxide, $NiTiO_3$.* Mineralogical Journal, Vol. 14, Page 133-144. Recuperado de http://www.crystallography.net/cod/1544718.html
Revisado el 2018-05-28

Qpcomunicacion. Setemcat. Recuperado de https://prevencionar.com/2018/06/05/la-temperatura-ideal-en-la-oficina-la-conoces/
Revisado el 2019-05-19

R. F. Brady, L. V. Wake, *Principles and formulations for organic coatings with tailed infrared properties*. Progress in organic coatings, 20, 1992, 1-25.

Revisado el 2019-01-21

Rabigul T., Jiang T., Qiushan Y., Yuchang S., Lihua X. (2017). *Effect of annealing temperature on the structural and solar heat shielding performance of NiTiO3 nanopowder.* Solar Energy 159 (2018) 697–703. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.016

Revisado el 2018-12-06

Ryan, (2013). *What is the principle of diffuse reflectance spectroscopy behind band gap measurement?.* Chemistry Stack Exchange. Recuperado de https://chemistry.stackexchange.com/questions/6091/what-is-the-principle-of-diffuse-reflectance-spectroscopy-behind-band-gap-measur

Revisado el 2018-05-15

S. Kumar, N. K. Verma, M. L. Singla, *Study on reflectivity and photostability of Al-doped $TiO_2$ nanoparticles and their reflectors*, J. Mater. Res., Vol.28, 3, 2013, 521-528.

Revisado el 2019-01-21

Sanchez G. J. (2011). *Diagrama de Givoni. Creative Commons.* Recuperado de https://www.eoi.es/blogs/juanmiguelsanchez/2011/11/10/diagrama

Revisado el 2019-08-15

Steidle N., Lopes D., Pinto F., Zolnier S. (2016). V*is/NIR spectroscopy and chemometrics for non-destructive estimation of water and chlorophyll status in sunflower leaves.* Biosystems engineering 155 (2017) 124-133. http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.008
Revisado el 2019-01-15

Tong Y., Fu J., Chen Z., (2016). *Synthesis, Characterization, and NIR Reference of Highly Dispersed Niotio$_3$ and Niotio$_3$/TiO$_2$ Composite Pigments.* Hindawi Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials. Volume 2016, Article ID 5464978, 6 pages. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1155/2016/5464978
Revisado el 2018-04-02

Universidad Carlos III de Madrid (2015). *Espectroscopia ultravioleta-visible.* Opencourseware,. uc3m. Recuperado de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/practicas-1/PR-F-Anexos.pdf
Revisado el 2018-12-13

Universidad de Alicante (2016). *Difracción de rayos X*. Servicios Técnicos de Investigación. Alicante(Spain). Recuperado de https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/difraccion-de-rayos-x.html
Revisado el 2018-04-24

Universidad de Alicante (2016). *Espectroscopía UV-visible.* Servicios Técnicos de Investigación. Alicante(Spain). Recuperado de https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x-de-monocristal-y-espectroscopias-vibracional-y-optica/espectroscopia-ultravioleta-visible.html
Revisado el 2018-04-26

Universidad de Sonora (2016). Capítulo 4. Tesis digital. México. Recuperado de tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21199/Capitulo4.pdf
Revisado el 2018-12-18

U.S. Energy Information Administration, 2010 International Energy Outlook, Report Number: DCE/EIA-0484(2011), 2010. World Health Organization, WHO World Health Report, 2002
Revisado el 2019-01-15

Yu Xin C., (2011). *Study and Development of near-Infrared Reflective and Absorptive Materials for Energy Saving Application.* Carleton University Ottawa, Ontario. Tesis
Revisado el 2019-01-10

# ANEXOS

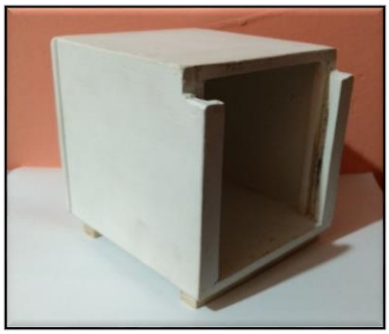
## Anexo 1

Fotos del porta muestras del equipo





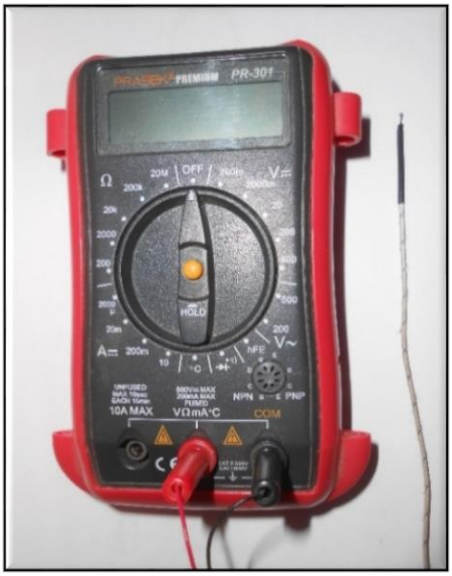






## Anexo 2

Termocupla de contacto (1); Lámpara con un foco de 100 W (2); Capucha de aluminio (3); Pintura con su base (4)




**(1)**



**(2)**



**(3)**







**(4)**

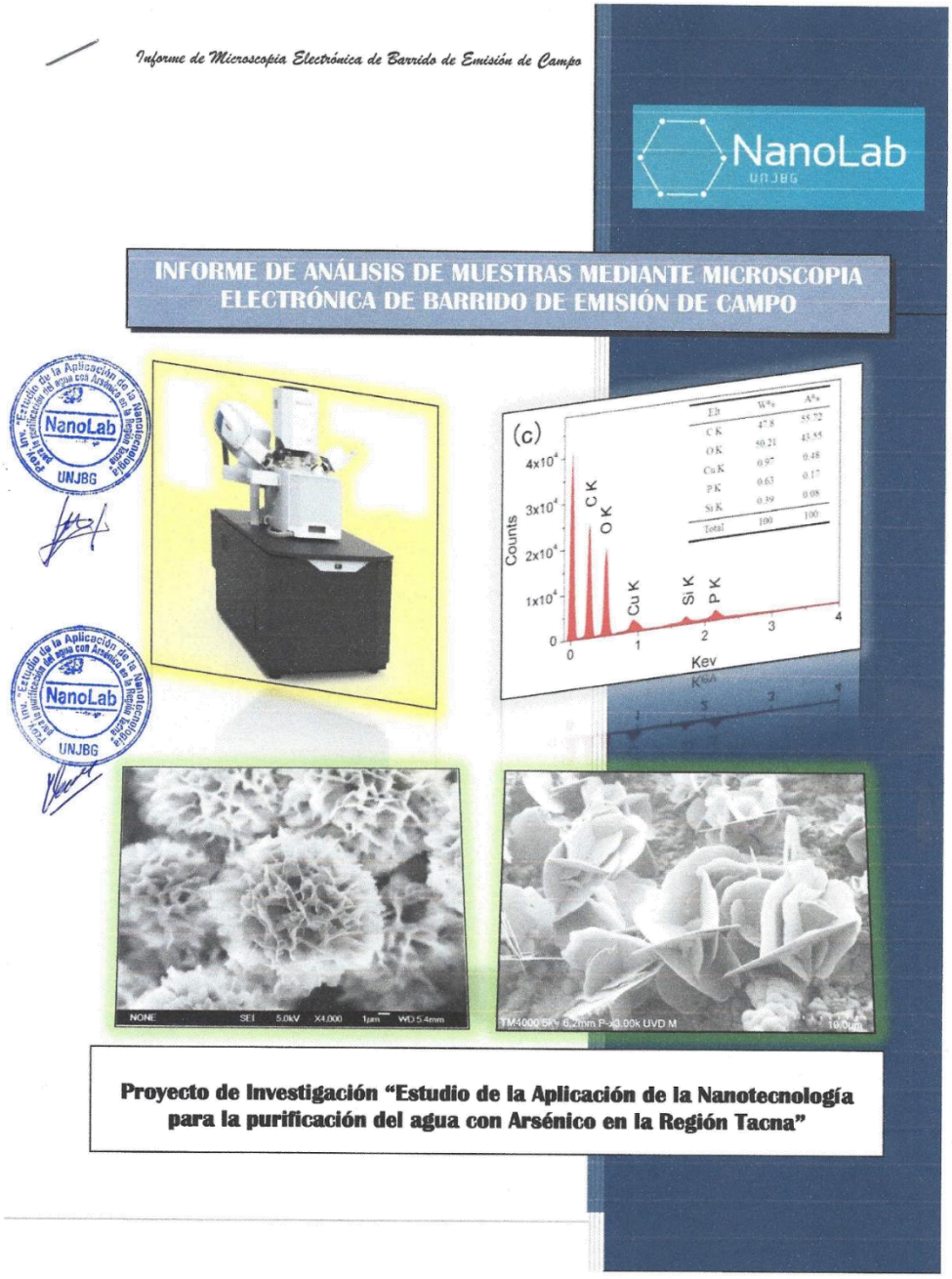
**Anexo 3**

| **SUPERFICIES A EVALUAR** | |
|---|---|
|  | **Datos:**<br>• **Dimensiones:**<br>10 cm x 10 cm<br>• **Grosura:**<br>3 mm<br>• **Masa:**<br>75 g |
|  | **Datos:**<br>• **Dimensiones:**<br>10 cm x 10 cm<br>• **Grosura:**<br>3 mm<br>• **Masa:**<br>225 g |

| | |
|---|---|
|  | **Datos:**<br>• **Dimensiones:**<br>10 cm x 10 cm<br>• **Grosura:**<br>4 mm<br>• **Masa:**<br>350 g |

## Anexo 4

Informe de análisis de muestras mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo



**Contenido**

1. Solicitante ..... 154
2. Introducción ..... 154
3. Equipo empleado ..... 154
4. Resultados ..... 155
4.1. Análisis de espesor ..... 156

**INFORME DE ANÁLISIS DE MUESTRAS MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO**

## 1. Solicitante

Tesista Bach Franklin Carlos Calisaya Pinto
Asesor: Francisco Gamarra Gómez
Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica- UNJBG

## 2. Introducción

A pedido del solicitante, se ha realizado la caracterización de 30 muestras de recubrimientos con pinturas mediante microscopia electrónica de barrido de emisión de campo, para la determinación del espesor.

La muestra se recibió en forma de placas recubiertas con compuestos de pintura y Nanopartículas de $NiTiO_3$, el mismo que fue analizado mediante microscopia electrónica.

Las condiciones de medición se aprecian en la descripción de cada una de las imágenes del presente informe

## 3. Equipo empleado

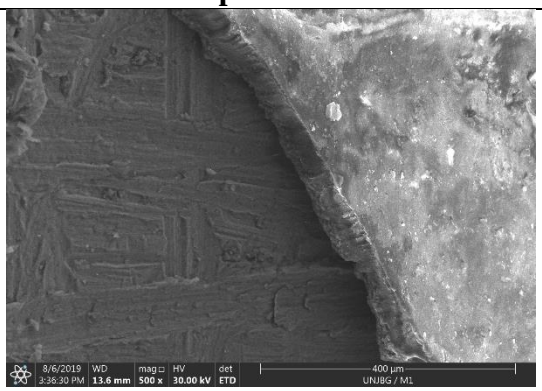
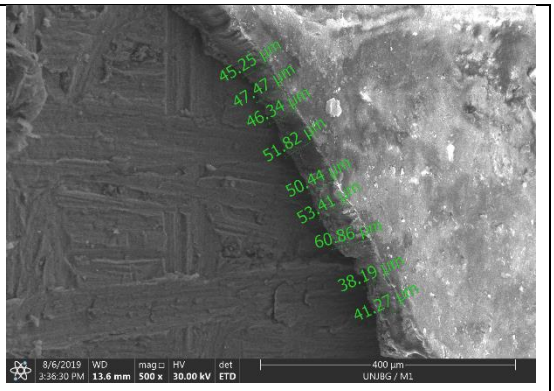
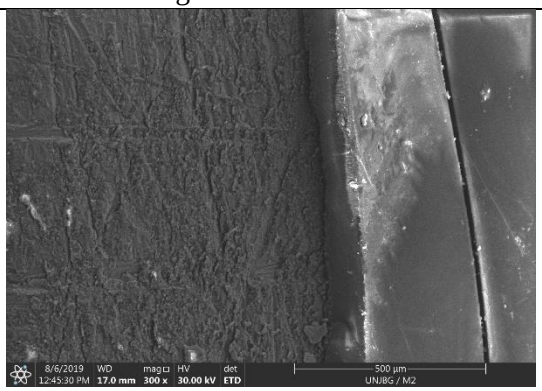
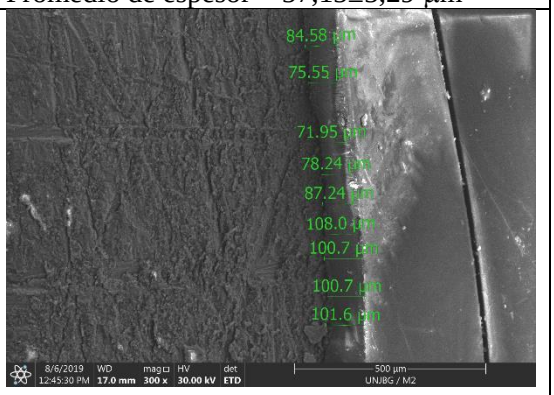
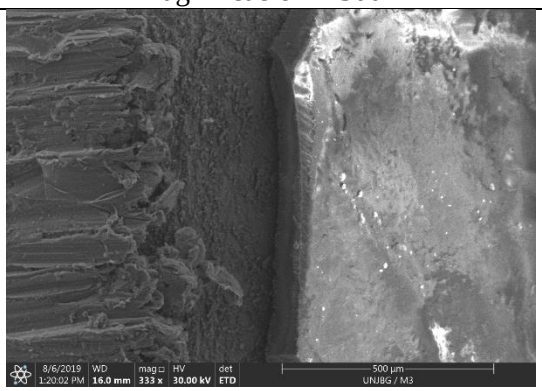
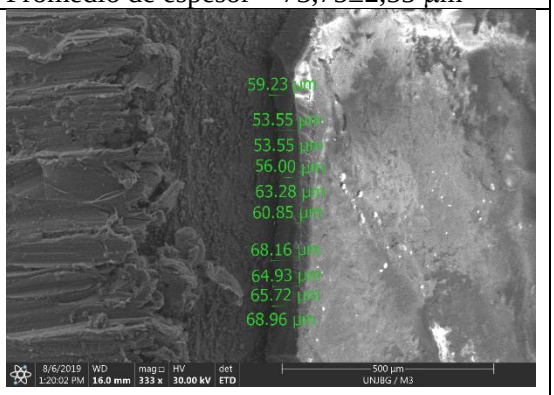
**Equipo:** Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo QUATTRO S.

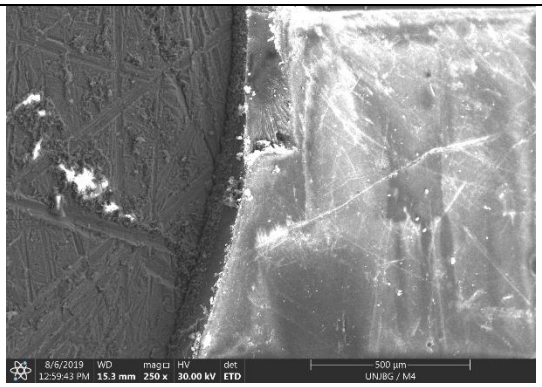
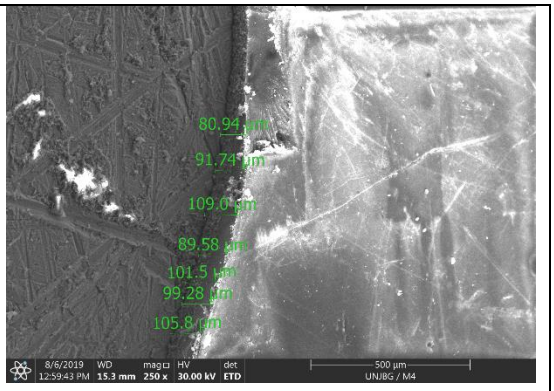
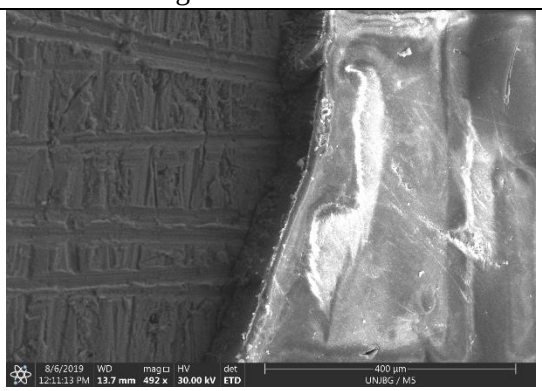
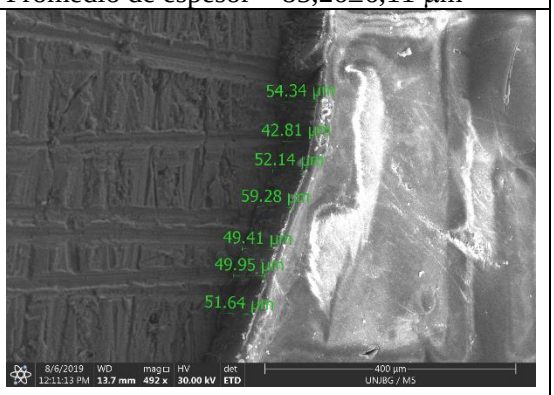
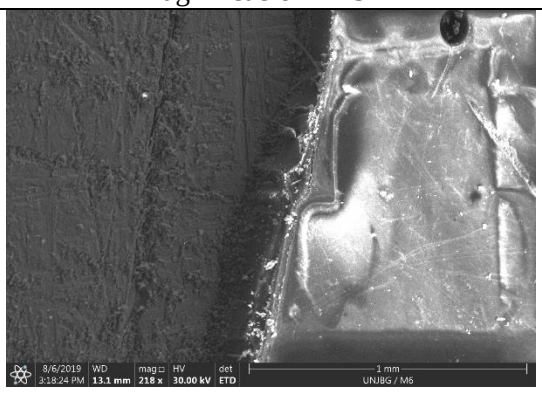
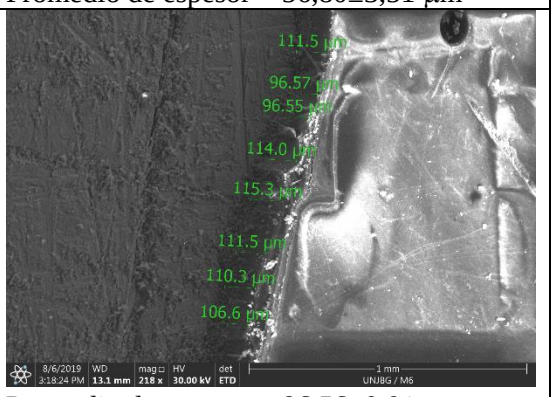
## 4. Resultados

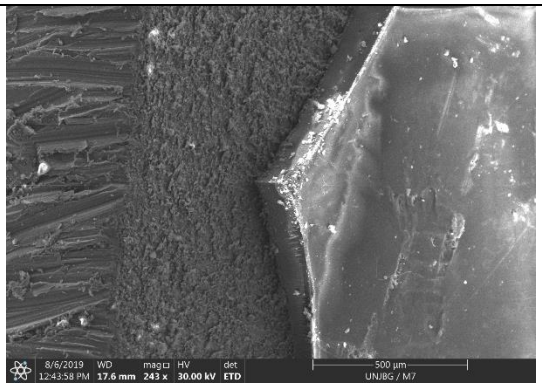
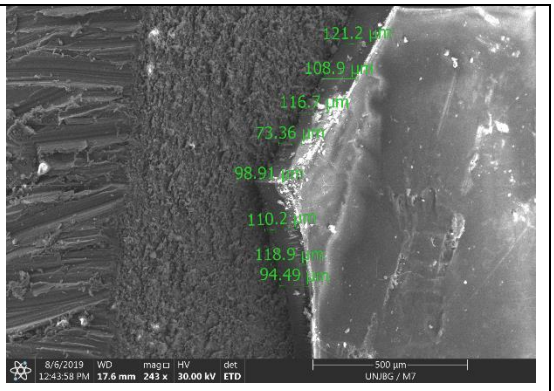
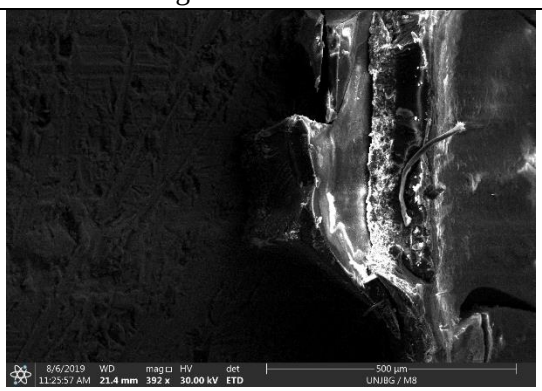
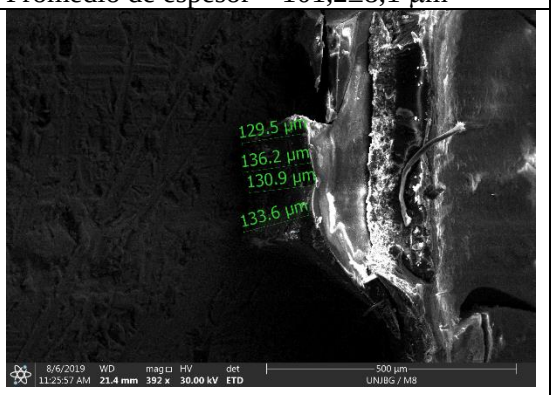
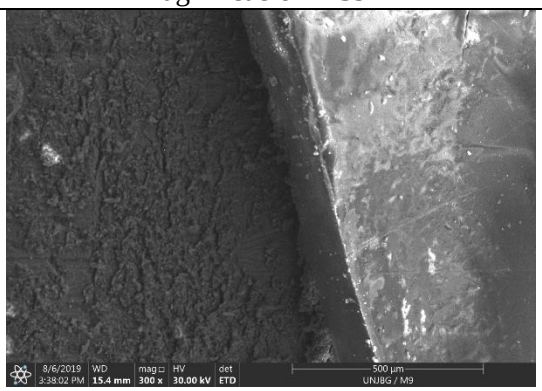
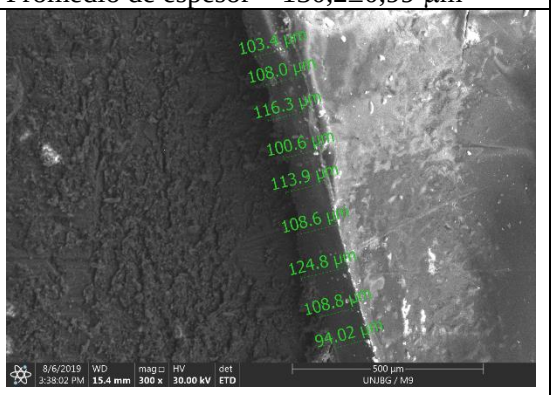
Denominación de las muestras

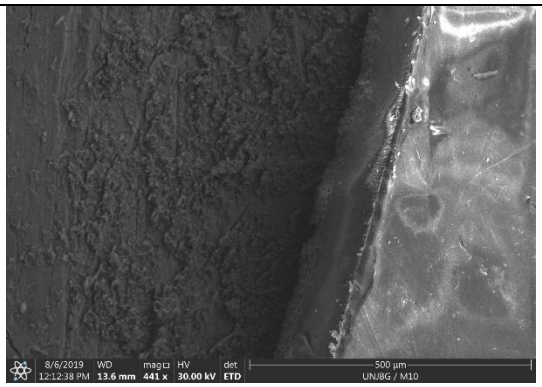
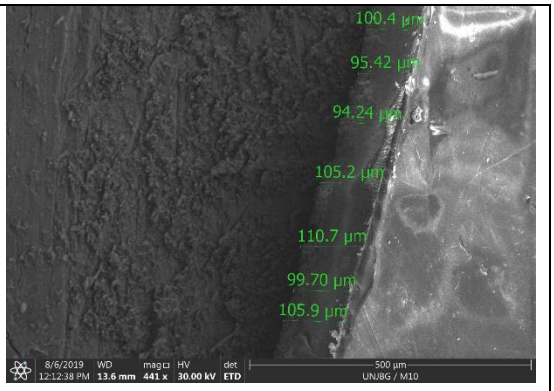
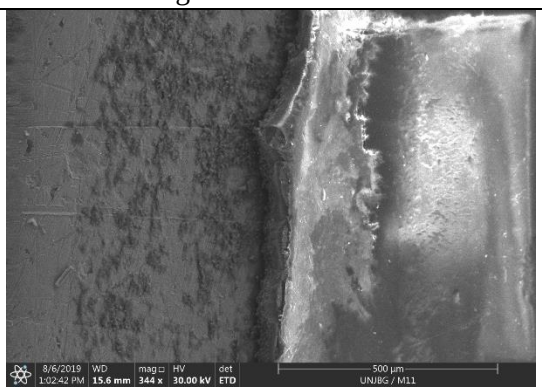
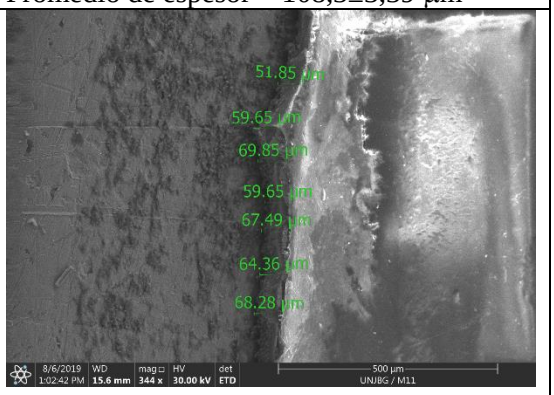
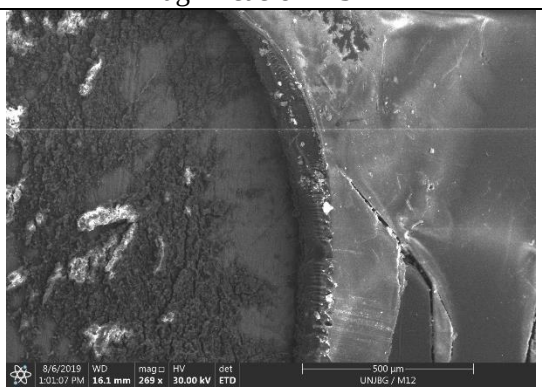
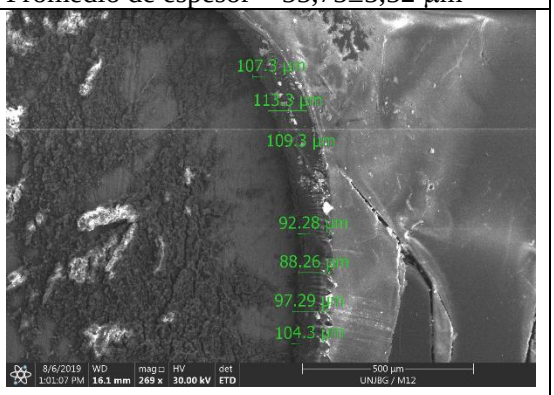
| DENOMINACIÓN | NOMBRE DE LA MUESTRA |
|---|---|
| M1 | Al.cp.2p |
| M2 | Al.cp.3p |
| M3 | Al.$NiTiO_3$.100mg2p |
| M4 | Al.$NiTiO_3$.100mg3p |
| M5 | Al.$NiTiO_3$.300mg1p |
| M6 | Al.$NiTiO_3$.300mg2p |
| M7 | Al.$NiTiO_3$.300mg3p |
| M8 | Al.$NiTiO_3$.500mg1p |
| M9 | Al.$NiTiO_3$.500mg2p |
| M10 | Al.$NiTiO_3$.500mg3p |
| M11 | Ac.cp.2p |
| M12 | Ac.cp.3p |
| M13 | Ac.$NiTiO_3$.100mg2p |
| M14 | Ac.$NiTiO_3$.100mg3p |
| M15 | Ac.$NiTiO_3$.300mg1p |
| M16 | Ac.$NiTiO_3$.300mg2p |
| M17 | Ac.$NiTiO_3$.300mg3p |
| M18 | Ac.$NiTiO_3$.500mg1p |
| M19 | Ac.$NiTiO_3$.500mg2p |
| M20 | Ac.$NiTiO_3$.500mg3p |
| M21 | Fe.cp.2p |
| M22 | Fe.cp.3p |
| M23 | Fe.$NiTiO_3$.100mg2p |
| M24 | Fe.$NiTiO_3$.100mg3p |
| M25 | Fe.$NiTiO_3$.300mg1p |
| M26 | Fe.$NiTiO_3$.300mg2p |
| M27 | Fe.$NiTiO_3$.300mg3p |
| M28 | Fe.$NiTiO_3$.500mg1p |
| M29 | Fe.$NiTiO_3$.500mg2p |
| M30 | Fe.$NiTiO_3$.500mg3p |

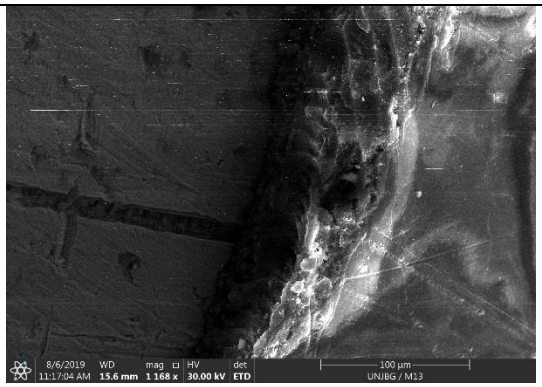
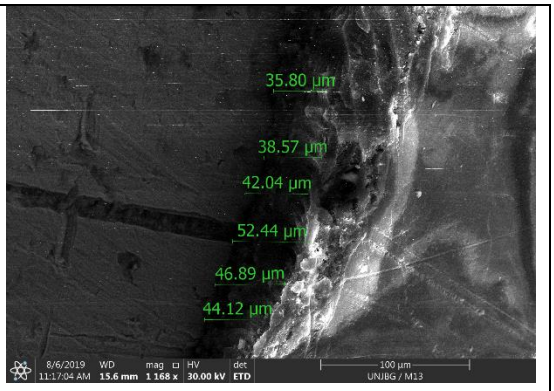
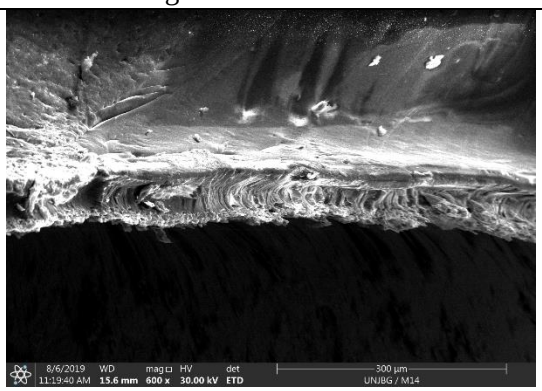
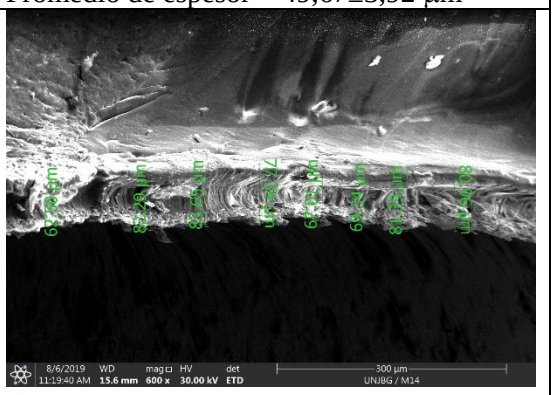
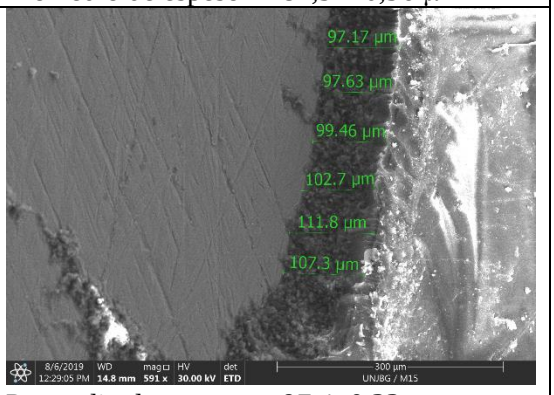
## 4.1. Análisis de espesor

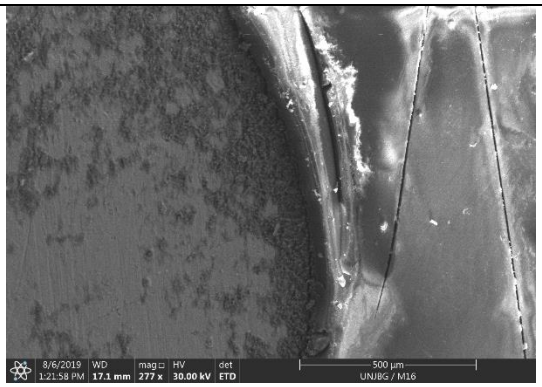
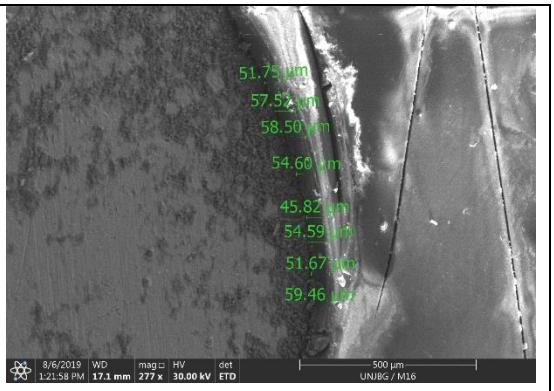
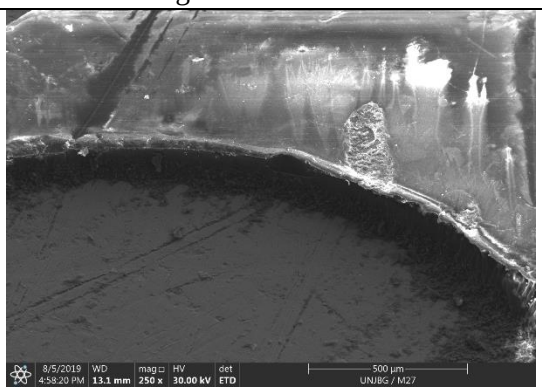
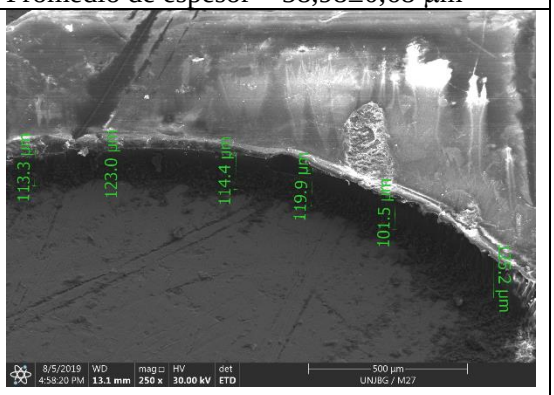
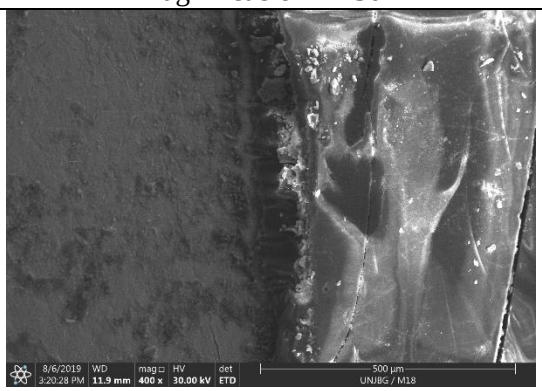
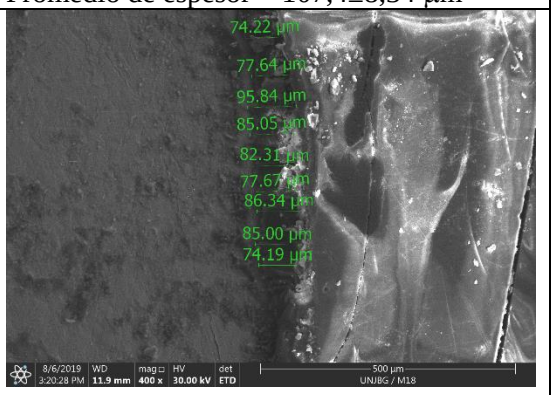
| | | |
|---|---|---|
| M1 |  |  |
| | Magnificación = 500 x | Promedio de espesor = 57,15±5,29 µm |
| M2 |  |  |
| | Magnificación = 300 x | Promedio de espesor = 73,75±2,55 µm |
| M3 |  |  |
| | Magnificación = 333 x | Promedio de espesor = 68,56±0,57 µm |

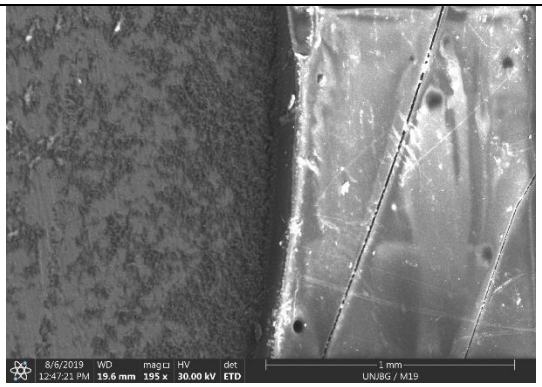
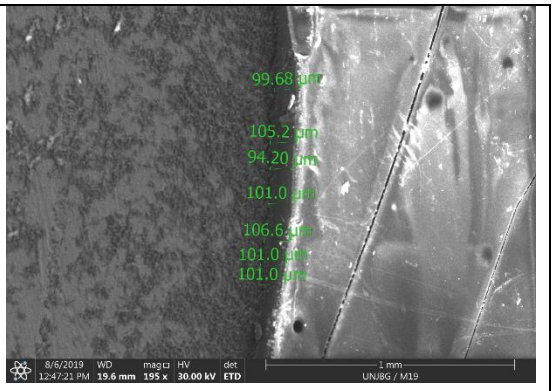
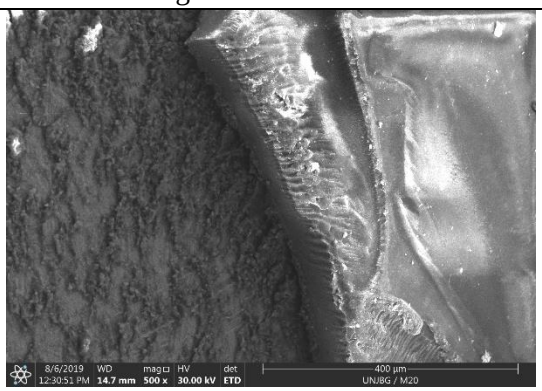
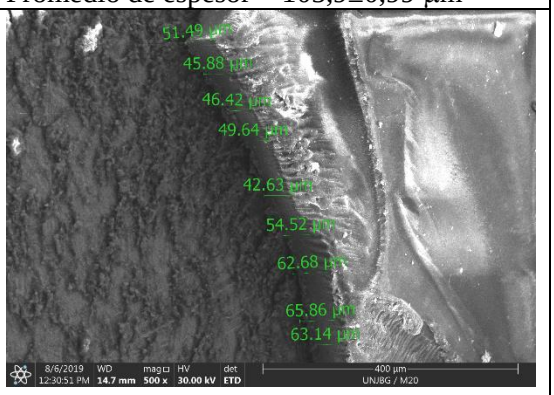
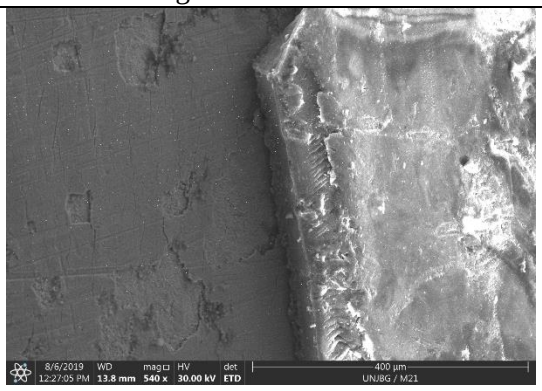
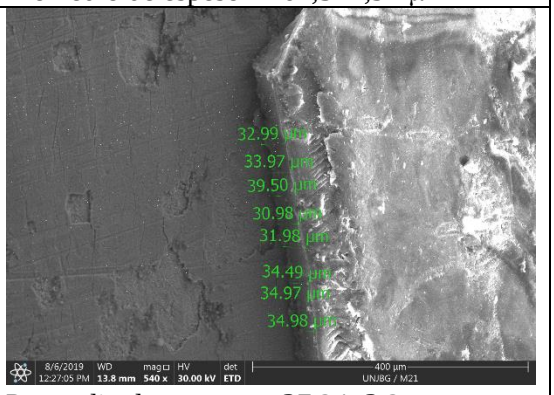
| | | |
|---|---|---|
| M4 | <br>Magnificación = 250 x | <br>Promedio de espesor = 85,26±6,11 µm |
| M5 | <br>Magnificación = 492 x | <br>Promedio de espesor = 56,80±3,51 µm |
| M6 | <br>Magnificación = 218 x | <br>Promedio de espesor = 96,56±0,01 µm |

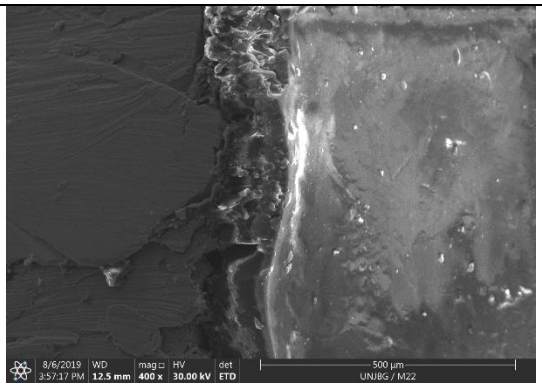
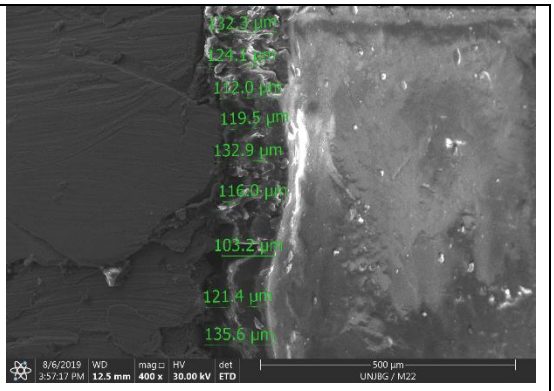
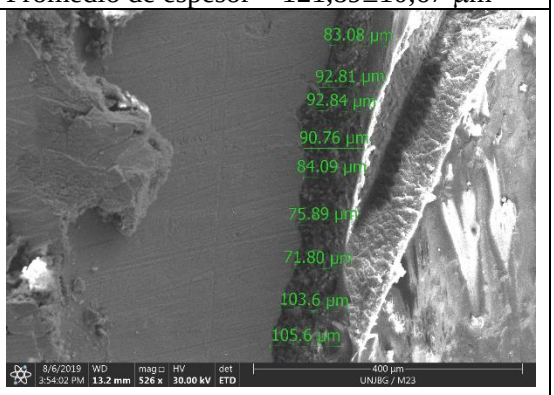
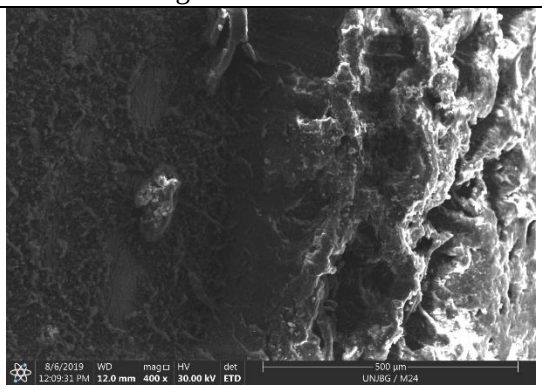
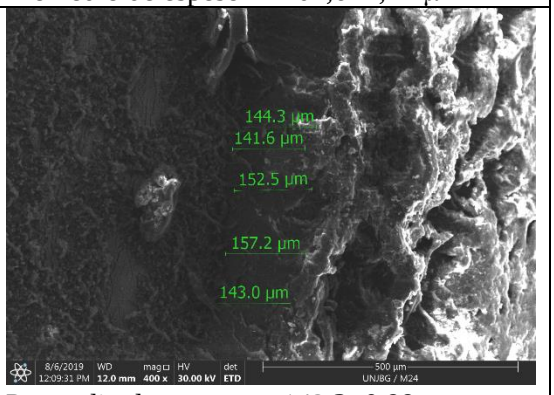
| | | |
|---|---|---|
| M7 |  |  |
| | Magnificación = 243 x | Promedio de espesor = 101,2±8,1 µm |
| M8 |  |  |
| | Magnificación = 392 x | Promedio de espesor = 130,2±0,99 µm |
| M9 |  |  |
| | Magnificación = 300 x | Promedio de espesor = 120,55±6,01 µm |

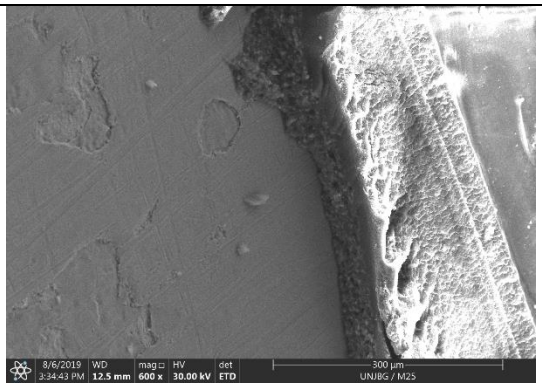
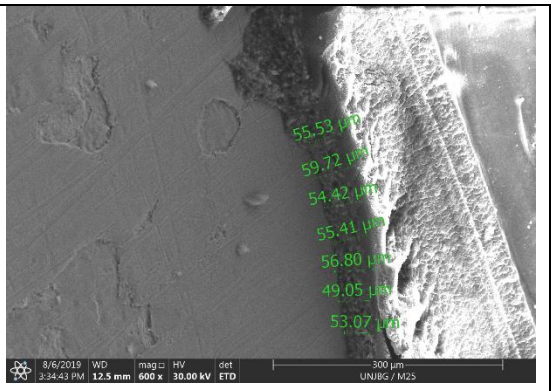
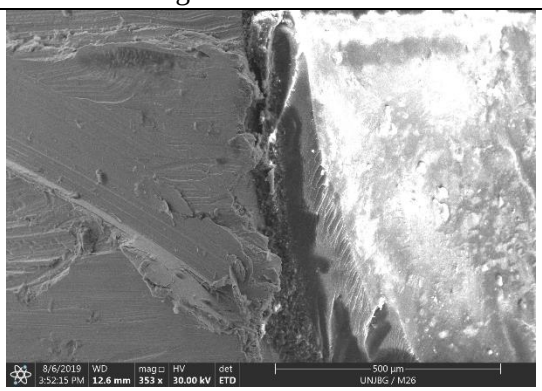
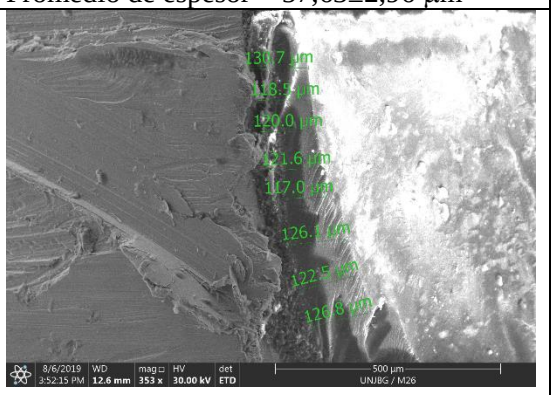
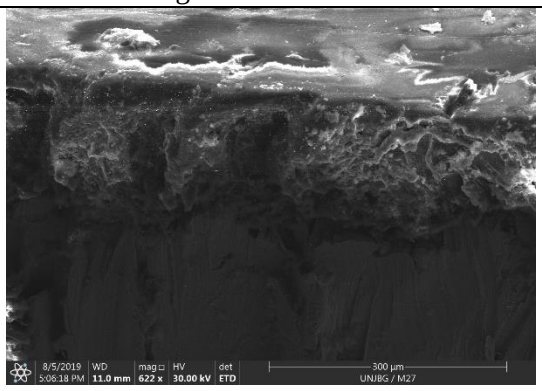
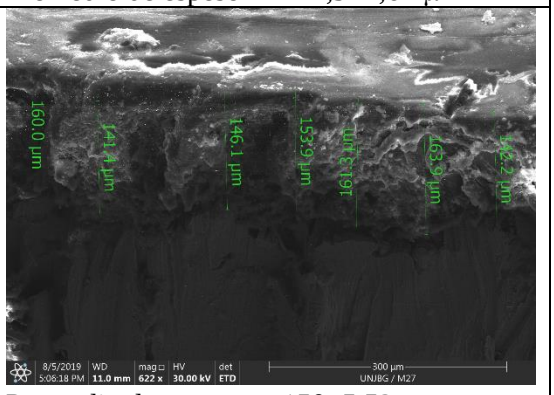
| | | |
|---|---|---|
| M 10 |  Magnificación = 441 x |  Promedio de espesor = 108,3±3,39 µm |
| M 11 |  Magnificación = 344 x |  Promedio de espesor = 55,75±5,52 µm |
| M 12 |  Magnificación = 269 x |  Promedio de espesor = 90,27±2,84 µm |

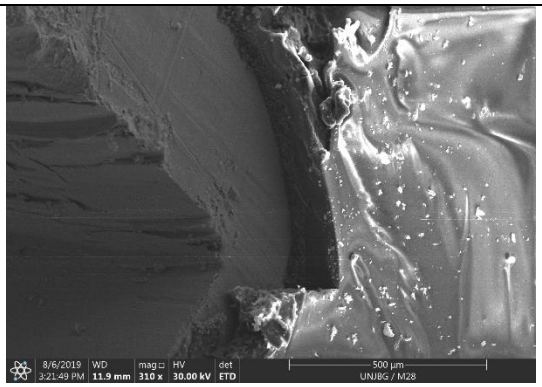
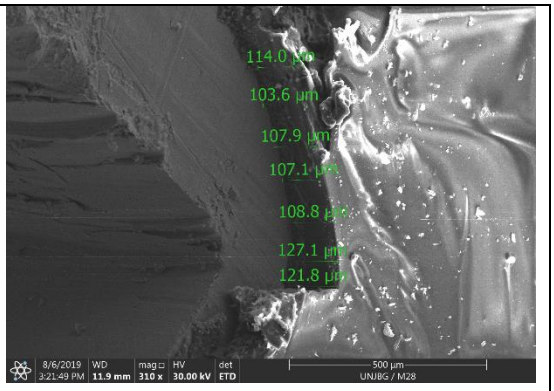
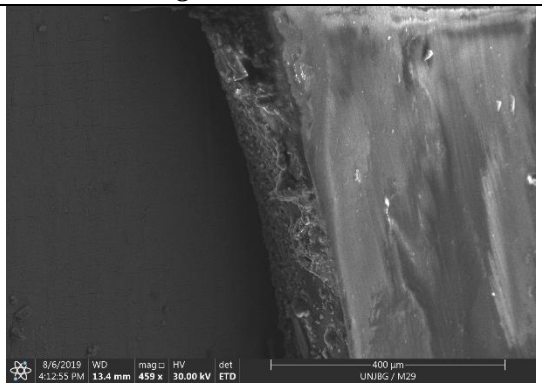
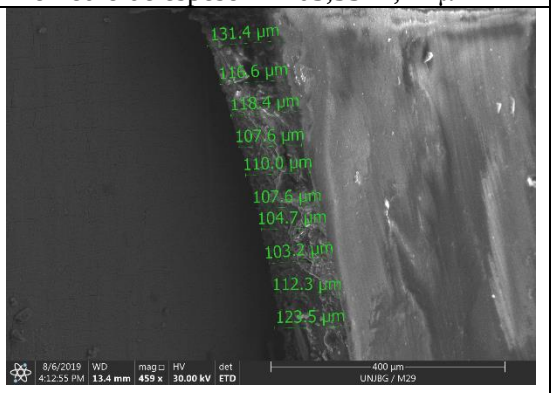
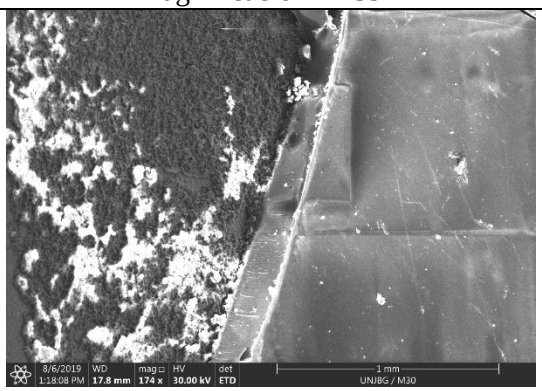
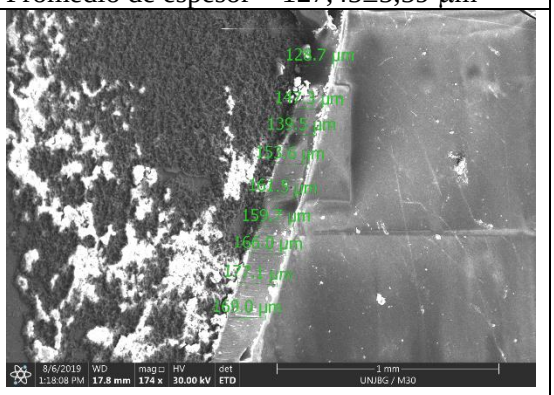
| | | |
|---|---|---|
| M 13 |  |  |
| | Magnificación = 1 168 x | Promedio de espesor = 49,67±3,92 µm |
| M 14 |  |  |
| | Magnificación = 600 x | Promedio de espesor = 82,97±0,96 µm |
| M 15 |  |  |
| | Magnificación = 591 x | Promedio de espesor = 97,4±0,33 µm |

| | | |
|---|---|---|
| M 16 |  Magnificación = 277 x |  Promedio de espesor = 58,98±0,68 µm |
| M 17 |  Magnificación = 250 x |  Promedio de espesor = 107,4±8,34 µm |
| M 18 |  Magnificación = 400 x |  Promedio de espesor = 91,09±6,71 µm |

| | | |
|---|---|---|
| M 19 |   Magnificación = 195 x |   Promedio de espesor = 105,9±0,99 µm |
| M 20 |   Magnificación = 500 x |   Promedio de espesor = 64,5±1,92 µm |
| M 21 |   Magnificación = 540 x |   Promedio de espesor = 37,24±3,2 µm |

| | | |
|---|---|---|
| M 22 |  Magnificación = 400 x |  Promedio de espesor = 121,89±10,67 µm |
| M 23 |  Magnificación = 526 x |  Promedio de espesor = 104,6±1,41 µm |
| M 24 |  Magnificación = 400 x |  Promedio de espesor = 142,3±0,99 µm |

| | | |
|---|---|---|
| M 25 |  |  |
| | Magnificación = 600 x | Promedio de espesor = 57,63±2,96 µm |
| M 26 |  |  |
| | Magnificación = 353 x | Promedio de espesor = 122,9±4,64 µm |
| M 27 |  |  |
| | Magnificación = 622 x | Promedio de espesor = 150±5,52 µm |

| | | |
|---|---|---|
| M 28 |  Magnificación = 310 x |  Promedio de espesor = 105,35±2,47 µm |
| M 29 |  Magnificación = 459 x |  Promedio de espesor = 127,45±5,59 µm |
| M 30 |  Magnificación = 174 x |  Promedio de espesor = 156,65±4,31 µm |