



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

---



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO  
NANOAISLANTE TÉRMICO BASE AGUA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**PRESENTA:**

**ANTONIO DE JESÚS CALDERÓN GONZÁLEZ**

**DIRECTORAS DE TESIS:**

**DOCTORA EN CIENCIA DE LOS MATERIALES  
GEORGINA CARBAJAL DE LA TORRE**

**DOCTORA EN INGENIERÍA DE MATERIALES  
MIRIAM ROCÍO ESTÉVEZ GONZÁLEZ**



**Morelia, Michoacán, Agosto del 2015**



## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

**Al señor:** Por estar siempre a mi lado en todo momento, por darme paz, esperanza y la fuerza para seguir adelante frente a todos los retos y adversidades que nos presenta el camino de la vida.

**A mis padres:** Lilia González Ramírez y Félix Calderón Villegas.

Por todo su amor, respeto, consejos, ayuda, cariño y apoyo incondicional, por acompañarme siempre en cada paso de mi vida, por darme la oportunidad de tener una buena formación ética y profesional y darme todos aquellos valores con los que cuento hoy en día para ser una mejor persona. No sé si algún día lleguen a leer esto, pero les quiero decir que estoy inmensamente agradecido, nunca lo hubiera podido lograr sin ellos, en verdad se los agradezco de todo corazón. Los amo.

**A mis hermanos:** Félix Cesar Calderón González, Marco Vinicio Calderón González, Liz Lili Calderón González, Luis Alberto Calderón González, Ricardo Rafael Calderón González y Víctor Hugo Calderón González.

Por todos los momentos que pasamos juntos, por ir creciendo, jugando, riéndonos, aconsejándonos y compartiendo el camino de la vida, por su apoyo incondicional en todo momento y por siempre estar juntos.

**A mis abuelitos:** Luz María Ramírez Hernández, Jesús González López, Cristina Villegas y Juvenal Calderón García.

A todos mis sobrinos que quiero con todo mi corazón (Neidy, Andrick, Iván, Ussain, Valeria, Naomi y Mía), a mis primos con los que crecí y jugué (Nadia, Erandi, Mariel, Karla, Kimberly, Pablo, Eddie, Mario, Cristian, Omar), a todos mis tíos por su cariño y respeto, a mis amigos de toda la vida (Antonio Guerra y Ricardo Cortez) y a Karen una persona muy especial que siempre estará en mi corazón.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y en especial al posgrado de la facultad de ingeniería mecánica (FIM), por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional, adquiriendo aquellos conocimientos respecto a mi carrera para obtener el grado de maestro en ciencias en ingeniería mecánica y al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) por su apoyo a lo largo de mi posgrado de maestría.

Agradezco a la Dra. Georgina Carbajal de la Torre (UMSNH), Dra. Ana Martínez (UMSNH) y a la M.C. Andrea Ariadna Ríos Ramírez (UNAM) por todo su apoyo, conocimientos y consejos cuando fungieron como profesoras y ahora como asesoras en la elaboración de mi tesis profesional. También agradezco a todos aquellos profesores que desde mis inicios aportaron sus conocimientos, apoyo, pláticas y consejos, y a todas aquellas personas que directa o indirectamente a través de sus pláticas, consejos y motivaciones, me ayudaron para la obtención de mi título a maestría ya que siempre formarán parte de mi ser.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene que ver con la caracterización de un recubrimiento nanoaislante térmico base agua, es decir, llegar a conocer algunas propiedades físico-químicas específicas con el fin de conocer su comportamiento y futuras posibles aplicaciones del mismo.

Existe una gran variedad de caracterizaciones que se pueden realizar a recubrimientos y/o pinturas, ya sean, pruebas ópticas, mecánicas, eléctricas, térmicas, etc. El actual trabajo se enfoca principalmente en 3 tipos de pruebas conocidas como: intemperismo (química), reflectancia (óptica) y adhesión (mecánica), además de una simulación en un programa de elemento finito (ANSYS) para determinar algunas variables térmicas.

Proporciona información general acerca de los equipos utilizados para evaluar las propiedades del recubrimiento, describe paso a paso como se llevaron a cabo dichas caracterizaciones, así como el análisis de resultados y conclusiones acerca de las propiedades del recubrimiento evaluado, además de algunos datos o consejos relacionados con la caracterización realizada.

## ABSTRACT

The present work is concerned with the characterization of thermal nanoinsulated base water coating, it means, know some specific physic-chemical properties with the purpose to understand it's behavior and possible future applications.

There are a variety of characterizations that can be made on coatings or paints, optical, mechanical, electrical, thermal, etc. The current work focuses mainly on 3 types of test known as: weathering (chemical), reflectance (optical) and adherence (mechanical), in addition with a simulation in a finite element program (ANSYS) to determine some thermal variables.

It provides general information about equipment used to evaluate the properties of the coating, describes step by step how were carried out such characterizations, the analysis of the results and conclusions about the properties of the coating evaluated and some dates or advices related with the characterizations made.

Palabras clave: polímero, recubrimiento, nanomateriales, caracterizaciones, aislante térmico.

Keywords: polymers, coatings, nanomaterials, characterization, thermal insulation.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
1. POLÍMEROS .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Clasificación .....	2
1.2.1. De acuerdo a su composición .....	2
1.2.2. De acuerdo a su origen .....	2
1.2.3. De acuerdo a su estructura .....	3
1.2.3.1. Estructura química .....	3
1.2.3.2. Estructura física .....	4
1.2.4. De acuerdo a su uso .....	5
1.3. Factibilidad técnico-económica de los polímeros .....	6
1.4. Polímeros térmicos.....	8
CAPÍTULO II.....	10
2. RECUBRIMIENTOS.....	10
2.1. Introducción .....	10
2.2. Componentes.....	11
2.2.1. Pigmentos .....	11
2.2.2. Resinas.....	12
2.2.3. Solventes.....	12
2.2.4. Aditivos .....	13
2.3. Variables de aplicación .....	14
2.4. Sistema de pintura.....	16
2.5. Secado.....	17
2.6. Pinturas base agua.....	18
CAPÍTULO III .....	21
3. NANOMATERIALES.....	21
3.1. Introducción .....	21
3.2. Métodos de obtención y síntesis de nanomateriales.....	22
3.3. Clasificación .....	24
3.4. Nanomateriales poliméricos.....	25
3.5. Efectos de los nanomateriales .....	26
3.6. Nanoeconomía .....	28
CAPÍTULO IV .....	30
4. METODOLOGÍA .....	30
4.1. Reflectancia.....	30
4.2. Intemperismo .....	35
4.3. adhesión .....	37
4.4. análisis de elemento finito por computadora (ANSYS).....	39
CAPÍTULO V .....	44
5. EXPERIMENTACIÓN.....	44
5.1. Introducción .....	44
5.2. Preparación de las probetas.....	44
5.3. Reflectancia.....	47
5.3.1. Discusión de resultados .....	52
5.3.2. conclusiones.....	56
5.4. Intemperismo .....	58
5.4.1. Discusión de resultados .....	61
5.4.2. conclusiones.....	64
5.5. Adhesión .....	66
5.5.1. Discusión de resultados .....	68
5.5.2. conclusiones.....	70
5.6. elemento finito por computadora (ANSYS).....	71
5.6.1. Discusión de resultados .....	72
5.6.2. Conclusiones.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ejemplos de geometrías lineal ramificada, entrecruzada y en redes.....	3
Figura 1.2. Configuración isotáctica, sindiotáctica y atáctica.....	4
Figura 1.3. Representación regiones a) amorfa b) semicristalina c) cristalina en un polímero.....	5
Figura 1.4. Ejemplos de polímeros utilizados en diversas ramas de las diferentes industrias .....	8
Figura 2.1. Sistema de pintura.....	16
Figura 2.2. Contenido porcentual de sólidos, solvente y agua en los tipos de pintura.....	19
Figura 3.1. Visión futurista de los nanorobots en el torrente sanguíneo .....	22
Figura 3.2. Enfoque multidisciplinario de las rutas Top-Down y Bottom-up.....	23
Figura 3.3. Ejemplos de las estructuras denominas fullerenos y nanotubos de Carbono.....	24
Figura 3.4. Representación esquemática de las diferentes dimensiones de las nanopartículas.....	25
Figura 3.5. Inversión de la nanotecnología en las diferentes áreas de la sociedad.....	29
Figura 3.6. Número de publicaciones con la palabra clave nanopartícula (PubMed 28/02/2013)....	29
Figura 4.1. Fábrica de transferencia de calor .....	31
Figura 4.2. Ejemplo de la regresión del consumo anual de electricidad en la relación con la reflectancia exterior en la ciudad de Miami USA .....	32
Figura 4.3. Fenómenos que ocurren como consecuencia de la interacción luz-materia .....	33
Figura 4.4. Efecto albedo sobre la superficie de un edificio .....	33
Figura 4.5. Ejemplos falla adhesiva y falla cohesiva .....	38
Figura 4.6. Representación esquemática de la ley de Fourier de la conducción .....	39
Figura 4.7. Dependencia de la conductividad térmica (K) en relación algunos parámetros .....	41
Figura 5.1. Proceso de cortado y obtención de probetas .....	45
Figura 5.2. Preparación de la superficie y guardado de probetas.....	46
Figura 5.3. Pintado, medición del espesor, guardado y sellado de las probetas pintadas .....	47
Figura 5.4. Espectrofotómetro de esferas integradas, calibración y medición de muestras .....	47
Figura 5.5. Esfera para colorimetría en el espacio .....	52
Figura 5.6. Cámara de intemperismo acelerado.....	58
Figura 5.7. Posicionamiento y colocación de las muestras en la cámara de intemperismo .....	58
Figura 5.8. Comparación muestra estándar 2 capas (M2C) a 72 horas.....	59
Figura 5.9. Comparación muestra estándar 3 capas (M3C) a 72 horas.....	60
Figura 5.10. Comparación muestra estándar 4 capas (M4C) a 72 horas.....	60
Figura 5.11. Tensometro universal marca INSTRON.....	66
Figura 5.12. Falla de la adhesión del recubrimiento .....	67
Figura 5.13. Procedimiento de la prueba y muestras finales de adhesión.....	67
Figura 5.14. Representación esquemática de las diferentes capas de la pared.....	71
Figura 5.15. Diferencial de temperatura obtenido con una carga térmica de 40°C.....	72
Figura 5.16. Diferencial de temperatura obtenido con una carga térmica de 35°C.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Algunas comparaciones entre un material polimérico y uno metálico.....	7
Tabla 2.1. Costo pigmentos blancos para un recubrimiento igual .....	12
Tabla 2.2. Comparación de algunos métodos de aplicación para pinturas.....	15
Tabla 2.3. Porcentaje de la pintura depositada de acuerdo al método de aplicación.....	15
Tabla 2.4. Comparación general de una pintura base solvente con una pintura base agua .....	20
Tabla 3.1. Criterios de normalización para el uso de los nanomateriales .....	27
Tabla 3.2. Algunos nanomateriales tóxicos.....	27
Tabla 4.1. Índice de reflectancia de algunos materiales.....	32
Tabla 4.2. Propiedades de los principales aislantes utilizados en la industria .....	41
Tabla 5.1. Composición química y algunos usos del Aluminio 1100 .....	45
Tabla 5.2. Datos y grafica de las muestras con 2 capas a 72 horas .....	49
Tabla 5.3. Datos y grafica de las muestras con 3 capas a 72 horas .....	50
Tabla 5.4. Datos y grafica de las muestras con 4 capas a 72 horas .....	51
Tabla 5.5. Parámetros definidos de la cámara de intemperismo .....	59
Tabla 5.6. Resultados promedio y grafica de la prueba de adhesión (10 probetas) .....	68
Tabla 5.7. Materiales utilizados para la simulación con sus propiedades y dimensiones .....	71
Tabla 5.8. Variación del espesor de la película a conductividad térmica constante (graficado).....	73
Tabla 5.9. Variación de la conductividad térmica de la película a espesor constante (graficado) ....	74

## GLOSARIO

Polimerización. Proceso químico mediante el cual moléculas simples reaccionan para formar nuevas moléculas.

Hilabilidad. Capacidad de un material para formar hilos y que pueden ser alternados entre sí.

Orgánico. Sustancia química basada en los elementos Carbono e Hidrogeno principalmente.

Inorgánico. Sustancia química formada por distintos elementos en los que el Carbono no es su elemento principal.

Sedimentación. Estado de suspensión en un líquido (regularmente en el fondo).

Permeabilidad. Capacidad material para permitir ser atravesado por un flujo sin alterar propiedades.

Hidrocarburo. Compuesto orgánico formado únicamente por átomos de Carbono e Hidrogeno.

Catálisis. Variación de la velocidad de una reacción química en presencia de un catalizador.

Pirólisis. Descomposición química de un material causado por el calentamiento del mismo en ausencia del Oxígeno.

Coloide. Sistema formado por dos o más fases.

Punto cuántico. Nanoestructura semiconductor que limita el movimiento de los electrones en las tres direcciones espaciales.

Dendrímero. Molécula tridimensional de construcción arborescente.

Espintrónica. Tecnología emergente que promete revolucionar los dispositivos electrónicos.

Emisividad (emitancia). Proporción radiación térmica emitida por un cuerpo debido a su temperatura.

Absortancia. Fracción de la radiación incidente que es absorbida por un cuerpo o superficie.

Hidrolisis. Reacción de una sustancia química a causa del agua.

Material nanoestructurado. Nanomaterial que contienen unidades básicas estructurales o partículas en el rango de los nanómetros (1-100 nm).

Irradiación (irradiancia). Magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Intemperismo. Proceso de degradación y descomposición que sufren los materiales debido a la acción combinada de las condiciones atmosféricas.

ANSYS. Software para simulaciones ingenieriles asistido por computadora.

## NOMENCLATURA

ppm	Partes por millón
mol	Mol
Etc.	Etcétera
Tg	Temperatura de transición vítrea
Tm	Temperatura de fusión o derretimiento
%	Por ciento
°C	Grados centígrados
%R	Índice de reflectancia
$\Delta$	Gradiente
K	Grados kelvin
g	Gramo
Kg	Kilogramo
l	Litro
mils	Milésimas de pulgada
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
$\mu\text{m}$	Micrómetro
nm	Nanómetro
$\text{m}^2$	Metros cuadrados
$\text{s}^2$	Segundos cuadrados
min.	Minuto
pts.	Puntos
pH	Potencial de Hidrogeno
ADN	Ácido desoxirribonucleico
$\text{CO}_2$	Dióxido de Carbono
1D	Una dimensión
2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
UV	Radiación ultravioleta
W	Watts
N	Newton
MJ	Mega Joules
EUA	Estados Unidos Americanos
STM	Scanning Electron Microscope
AFM	Atomic Force Microscope

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El constante desarrollo de la ciencia y la tecnología, ha requerido o exigido el permanente avance, estudio y desarrollo de los materiales, es decir, el hombre se ha visto en la necesidad de ir explorando nuevos rumbos, nuevos lugares; desde el fondo del mar, hasta otros planetas, donde los materiales se ven expuestos a condiciones extremas de temperatura, presión, radiación, corrosión, etc.

En el área de la tecnología de los recubrimientos, se necesita cada vez más de pinturas capaces de resistir algunas condiciones de exposición críticas, como radiaciones, presiones y temperaturas elevadas, ambientes corrosivos, húmedos y salinos; lo que hace indispensable el desarrollo de nuevos recubrimientos capaces de cumplir con sus funciones bajo las circunstancias mencionadas.

El problema con los recubrimientos, es que se debe desarrollar tecnología para cada tipo de exposición, es decir, dependiendo de las condiciones de trabajo al que este destinado, serán las propiedades que se deban de cumplir, por ejemplo, si va estar sometido a elevadas temperaturas, debe de contener componentes que provean estas características; aparte de que también existe una gran diversidad de los mismos entre los que se puede seleccionar, lo que se quiere decir, es que existe un número elevado de diferentes recubrimientos que pueden ser creados para cada situación en particular, sin embargo, cada nuevo producto necesita ser caracterizado y/o estudiado antes de entrar en acción.

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Caracterizar un recubrimiento nanoaislante térmico base agua para llegar a conocer algunas propiedades y así poder determinar sus características para su posterior utilización.

### Objetivos específicos:

- Llevar a cabo la caracterización química conocida como intemperismo. Someter al recubrimiento a condiciones artificiales de humedad, radiación y temperatura como sería en un ambiente natural.
- Llevar a cabo la caracterización óptica conocida como reflectancia. Medir la cantidad de luz que refleja la pintura bajo condiciones determinadas.
- Llevar a cabo la caracterización mecánica conocida como adhesión. Medir el grado de adhesión que tienen la pintura a un sustrato determinado.
- Llevar a cabo una simulación usando el método de elemento finito en el programa ANSYS para determinar la funcionalidad del recubrimiento cuando se utiliza como aislante térmico.

## **HIPÓTESIS**

Tomando en cuenta las tecnologías con las que se cuenta actualmente, es posible la caracterización de un recubrimiento nanoaislante térmico base agua para lograr medir algunas propiedades específicas seleccionadas.

Actualmente, el avance de la ciencia y la tecnología crece a pasos agigantados, hoy en día se cuenta con una gran variedad de equipos para todo tipo de caracterizaciones, es decir, ya se puede llegar a conocer casi cualquier propiedad deseada de un material, desde sus características superficiales hasta las atómicas, únicamente se tiene que contar con el equipo adecuado para cada propiedad en específico.

Con el procedimiento y uso correcto de los equipos, se puede llegar a conocer las propiedades del recubrimiento elegidas y más en caso de ser necesarias, determinando si es apto para desenvolverse y/o cumplir con las finalidades a las que se encuentra destinado.

## INTRODUCCIÓN

Desde el momento en que nacemos, al movernos, crecer, desplazarnos, realizar alguna actividad, observar como todo tipo de herramientas, equipos y máquinas realizan las más diversas tareas, es decir, que el mundo se mueve, todas estas actividades tienen en común que requieren del fenómeno de la energía. Si no fuese por la energía que se pone en juego diariamente, cesaría toda actividad, no habría movimiento, desaparecería la vida en la tierra y finalizaría todo cambio en nuestro planeta.<sup>[1]</sup>

Desde hace ya muchos años atrás, la energía se ha convertido en un tema muy importante alrededor del mundo, su uso hace posible el avance de la sociedad en todos los ámbitos, además de que mejora las condiciones de vida del hombre. Un buen ejemplo de esto, es que la generación de energía va de la mano con el progreso de un país; energía y desarrollo son dos conceptos entrelazados y dependientes uno del otro, ya que un país que es basto en el consumo y producción de energía, por lo regular es una país primermundista, es por esto que hoy en día, se busca y se necesita del avance de tecnologías limpias y seguras capaces de satisfacer el continuo incremento de la demanda energética.<sup>[1, 6, 15]</sup>

Hoy en día, existen diversos proyectos para el desarrollo de energías limpias como es el caso de la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, mareomotriz e inclusive el Hidrogeno. En realidad los proyectos para la generación de energía son bastante buenos, pero en ocasiones se descuida un poco el aspecto del ahorro de la energía, es decir, a veces todos están tan ocupados y preocupados en producir más y más energía, que se descuida un poco el aspecto del ahorro energético, ya que si ahorráramos más, quizás no sería tan grande la demanda en cuanto a producción de energía.<sup>[3, 7, 29]</sup>

Ahorro y eficiencia energética se definen como: el acto de efectuar un gasto de energía menor del habitual, reduciendo el consumo de energía mediante acciones concretas, pero manteniendo la misma o mayor calidad y el mismo nivel de confort. Ahorrar reduce el índice de contaminación, disminuye y reserva el consumo del petróleo y otros tipos de recursos que se pueden invertir en diferentes ramas como la economía, la educación, la investigación o la cultura.<sup>[1]</sup>

Ahorrar conlleva un cambio en los hábitos de consumo, ahorro energético es por ejemplo, apagar las luces antes de salir, apagar la televisión y aparatos eléctricos cuando no están en uso, *hacer uso de las nuevas tecnologías* que se encuentran al alcance de la sociedad, como el uso de aparatos eléctricos ahorradores (lavadoras, lámparas, refrigeradores, microondas), recubrimientos reflectivos (ahorro en aire acondicionado), paneles y calentadores solares, etc., es decir, no cambia el uso de los aparatos, se sigue lavando, enfriando, calentando, iluminando y acondicionando, pero con una eficiencia energética.

Actualmente, la cooperación de cada ciudadano evitando el malgasto de la energía es indispensable para eliminar esta situación, ya sea ahorrando en el consumo como se mencionó o haciendo uso de las nuevas tecnologías que se encuentran al alcance hoy en día; para lograrlo es necesaria la eficiencia en el ahorro energético, tanto en las industrias, como en el comercio y el hogar. [18]

VIVIENDA NO EFICIENTE				VIVIENDA EFICIENTE			
Punto de consumo	Potencia	Horas de utilización al día*	Consumo total anual	Punto de consumo	Potencia	Horas de utilización al día*	Consumo total anual
Iluminación-bombillas incandescentes	10 bombillas de 100 W	3	1095 kWh	Iluminación-bombillas incandescentes	10 bombillas de 20 W	3	219 kWh
Frigorífico/congelador clase-D	540 W	3	635 kWh	Frigorífico clase-A	180 W	6	318 kWh
Televisor	250 W	6	459 kWh	Televisor	55 W	6	120 kWh
Lavadora clase-D	3600 W	4 ciclos/semana	394 kWh	Lavadora clase-A	600 W	4 ciclos/semana	250 kWh
Lavavajillas clase-D	4500 W	4 ciclos/semana	929 kWh	Lavavajillas clase-A	1200 W	4 ciclos/semana	263 kWh
Secadora clase-D	5200 W	3 ciclos/semana	375 kWh	Secadora clase-A	650 W	3 ciclos/semana	203 kWh
Cocina - horno	7000 W	0,5	1840 kWh	Cocina - horno de gas	–	–	–
Termo eléctrico	1500 W	4,5	2956 kWh	Colector solar**	–	–	443 kWh
<b>Total</b>			<b>8902 kWh</b>	<b>Total</b>			<b>2921 kWh</b>
Coste Anual			770 €	Coste Anual			264 €
				Ahorro anual			506 €

**Figura.** Comparación entre una vivienda no eficiente y una eficiente. [1]

Una tecnología muy relevante actualmente que puede conducir al ahorro energético, es la utilización de los materiales funcionales nanoestructurados (1-100 nm) cuyas características determinarán las propiedades del compuesto. El material base puede pertenecer a cualquier familia, sin embargo, el actual trabajo se enfoca en materiales de matriz polimérica, donde los nanomateriales puedan proporcionar la funcionalidad deseada (química, óptica, eléctrica, térmica, mecánica, etc.).

Por estas y por otras razones la generación, consumo y ahorro de la energía son temas de extrema importancia, para lo cual se necesita de la incorporación y el uso de nuevos materiales, conocimientos y tecnologías que se encuentren al alcance de las personas para hacer uso de sus beneficios.

# CAPÍTULO I

## 1. POLÍMEROS

### 1.1. Introducción

La palabra polímero fue utilizada por primera vez en 1833 por el químico Suizo llamado Berzelius. La palabra polímero se deriva del griego “poli” que significa muchos y “mero” que significa partes. Los polímeros naturales como la lana, seda, celulosa y resinas, han sido utilizados a lo largo de la historia, pero fue hasta mediados del siglo XIX cuando empezaron a fabricarse los primeros polímeros sintéticos. En 1839 Charles Goodyear (USA) de forma accidental logra vulcanizar el caucho, en 1869 John Hyatt (USA) obtiene el primer polímero sintético “el celuloide”, posteriormente en el año de 1909 Leo H. Baekeland (BEL) logra sintetizar el primer polímero totalmente sintético “la baquelita”, de ahí en adelante los avances en el desarrollo de los polímeros continuaron, pero no fue hasta inicios de la 2da guerra mundial cuando los países enfocaron su atención en este tipo de materiales para el avance tecnológico de los mismos. Hoy en día, los químicos son capaces de sintetizar casi cualquier tipo de polímero a medida de sus necesidades. [4, 5, 8]

Actualmente, muchos autores aseguran que vivimos en la época de los polímeros, ya que son estos los que están siendo el material más utilizado para todo tipo de actividades, desde procesos químicos, mecánicos, eléctricos, inclusive térmicos, es decir, los polímeros son materiales que podemos ver ya casi cualquier parte de nuestra sociedad, desde nuestras casas hasta centros comerciales, industrias, carreteras y todo tipo de construcciones. [4]

Un polímero puede definirse como: macromolécula constituida por la unión repetida de muchas pequeñas unidades moleculares llamadas “monómeros” unidas entre sí por enlaces covalentes (pudiendo existir enlaces iónicos, puentes de Hidrogeno y Van der Waals) que se forman a través de un método conocido como polimerización. [9]

La característica principal que difieren las macromoléculas poliméricas de las moléculas sencillas, es su elevado peso molecular que les confiere propiedades específicas. Es difícil trazar una frontera específica que delimite el tamaño molecular a partir de la cual se puede considerar un polímero, pero aproximadamente se puede entender como aquel donde su peso molecular se encuentra entre  $1 \times 10^4$  g/mol (polímero comercial vinílico) hasta valores extremadamente altos como  $1 \times 10^{10}$  g/mol (poliamidas). [9, 10]

## 1.2. Clasificación

La clasificación de los polímeros puede ser un tanto difícil de realizar ya que existen diversas alternativas para diferenciarlos debido a la extensa variedad que existen hoy en día, sin embargo, algunas formas muy comunes de clasificarlos son: de acuerdo a su composición, origen, estructura y uso. <sup>[11, 12]</sup>

### 1.2.1. De acuerdo a su composición

**a) Homopolímeros.** Es un polímero preparado a partir de un simple monómero, es decir, compuesto de un único tipo de unidad de repetición. Ejemplos: polietileno y poliestireno.

A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A.....Homopolímero

**b) Copolímeros.** También llamados co-monómeros o heteropolímeros. Son polímeros formados por dos o más monómeros químicamente distintos dentro la misma cadena molecular. Ejemplo: poliamidas. Estos pueden ser clasificados de distintas maneras:

B-A-A-A-B-B-A-B-A-B-B-B.....Copolímero al azar

A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B.....Copolímero alternado

A-A-A-B-B-B-A-A-A-B-B-B.....Copolímero por bloque

A-A-A-A-A-A-A- A-A-A-A.....Copolímero de injerto

└ B-B-B-B-B-B-B-B-B

### 1.2.2. De acuerdo a su origen

**a) Polímeros naturales.** Son aquellos que se encuentran en la naturaleza sin ningún tipo de transformación, aunque presentan estructuras mucho muy complejas. Ejemplos: lana, seda, proteínas, ADN y caucho.

**b) Polímeros semi-sintéticos.** Son aquellos que se obtienen por transformación de los polímeros naturales. Ejemplo: caucho vulcanizado.

**c) Polímeros sintéticos.** Son aquellos que se obtienen a partir de procesos o transformaciones industriales, normalmente tienen entre uno y tres tipos de diferentes unidades que se repiten. Ejemplos: nailon, poliestireno y policloruro de vinilo (PVC).

### 1.2.3. De acuerdo a su estructura

#### 1.2.3.1. Estructura química

Si pudiéramos escoger las características de un polímero según su aplicación serían: propiedades ambientales, mecánicas, térmicas, ópticas e incluso eléctricas. Todas estas propiedades tienen que ver con la estructura química, por lo tanto, esta es sin duda el aspecto más importante en los polímeros. A continuación se mencionan algunas características que tienen que ver con la estructura química del polímero: <sup>[4, 2, 10]</sup>

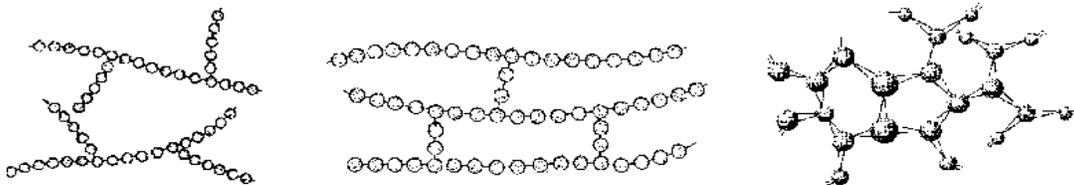
**a) Unión entre monómeros.** Atendiendo al proceso por el que se preparan, la unión entre monómeros puede dividirse en dos grandes grupos:

*1. Polímeros por adición o en cadena.* Formados a partir de reacciones de adición de dobles enlaces sin la pérdida de pequeñas moléculas, es decir, la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero original. Ejemplos: polietileno, PVC, polipropileno y poliestireno.

*2. Polímeros por condensación o por etapas.* Formados a partir de diferentes monómeros polifuncionales que dan lugar a otro diferente con la posible eliminación de alguna pequeña molécula tal como agua, etanol, cloruro de Hidrogeno, etc. Ejemplos: poliamidas, poliésteres y policarbonatos.

**b) Peso molecular.** Muchas de las propiedades de los polímeros están fuertemente ligadas a esta variable, tales características finales pueden ser más o menos significantes debido a este. El peso molecular es una propiedad extremadamente importante en los polímeros, un valor ideal depende principalmente de la estructura química y de la aplicación final.

**c) Geometría.** Según el tipo de polimerización se pueden obtener polímeros con diferente geometría, como por ejemplo: lineales (polietileno), enramados (poliestireno), entrecruzados (caucho) y redes (resinas epoxi). Hay casos donde se llegan a formar redes tridimensionales (ver Figura 1.1), incluso pueden existir otros tipos de geometrías pero que no son muy comunes (estrella, cepillo, escalera, dendrímero, etc.).



**Figura 1.1.** Ejemplos de geometrías lineal ramificada, entrecruzada y en redes. <sup>[10]</sup>

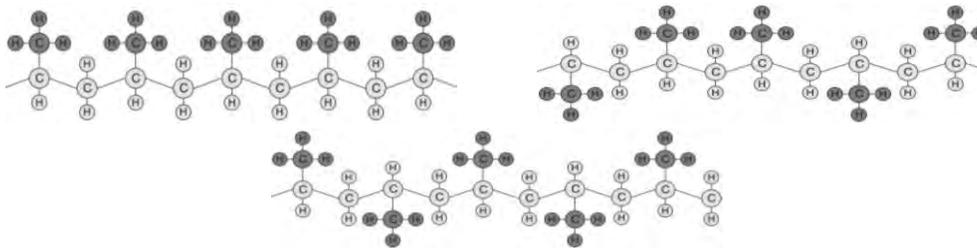
**d) Comportamiento térmico.** Debido al proceso de polimerización, se llegan obtener diferentes geometrías antes mencionadas que definirán el comportamiento térmico del polímero. Se pueden distinguir dos grandes grupos de polímeros refiriéndolos térmicamente:

1. *Polímeros termoplásticos.* Son básicamente polímeros lineales que después de calentarse o incluso fundirse tienen la capacidad de tomar cualquier forma y de recuperar sus propiedades originales al enfriarse. Ejemplos: polietileno y poliamidas.

2. *Polímeros termoestables.* Son básicamente polímeros entrecruzados insolubles que no funden y que después de calentarse tienden a convertirse en sólidos más rígidos que cuando se calentaron por primera vez. Ejemplos: baquelita, poliuretano y teflón.

**e) Tipos de átomos en la cadena principal y sustituyentes.** Según los tipos de átomos o elementos presentes en la cadena del polímero, dependerán las propiedades del mismo, afectando considerablemente las fuerzas de cohesión entre cadenas que a su vez determinarán la flexibilidad del material, la temperatura de transición vítrea (T<sub>g</sub>), temperatura de fusión (T<sub>m</sub>), capacidad de cristalización, entre otras muchas propiedades.

**f) Por su configuración.** Es el orden de los sustituyentes en el espacio alrededor de un átomo en particular. Cuando la configuración resultante de todos los grupos sustituyentes queda por encima o por debajo del plano de la cadena principal se llama isotáctica, si quedan alternados por encima y por debajo del plano se denomina sindiotáctica, mientras que una configuración al azar corresponde a una configuración atáctica (ver Figura 1.2).



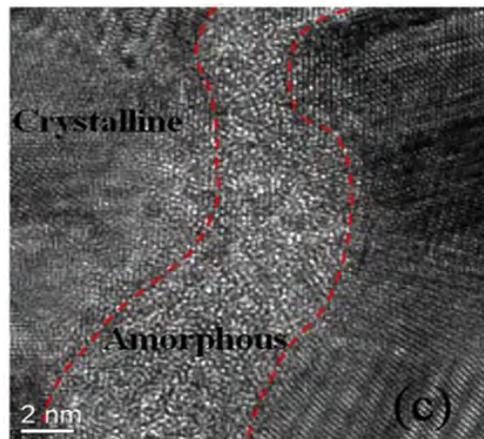
**Figura 1.2.** Configuración isotáctica, sindiotáctica y atáctica. [2]

### 1.2.3.2. Estructura física

Cuando se habla básicamente de la orientación y cristalinidad del polímero (que depende en gran medida de la estructura química) se dice que se está hablando del tipo de estructura física. Existen básicamente dos tipos de estructura física: cristalina y amorfa, tales términos se utilizan normalmente para indicar las regiones ordenadas y desordenadas de los polímeros. [1, 2, 21, 24]

**a) Estructura amorfa.** El estado amorfo puede alcanzarse por la agrupación de las macromoléculas lineales o ramificadas sin que exista ningún tipo de ordenamiento en la disposición de sus cadenas. Se dice que es un estado de no equilibrio ya que sus propiedades varían con el tiempo, además, se caracterizan ya que en un intervalo de pocos grados de temperatura sus propiedades varían considerablemente. Un ejemplo de un polímero altamente amorfo es el policarbonato.

**b) Estructura cristalina.** Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geoméricamente regulares en su estructura, cuando se habla de un estado cristalino, se refiere a que existe un ordenamiento en su geometría molecular; tales polímeros pueden alcanzar propiedades muy especiales, aunque, incluso un estado cristalino posee regiones amorfas; se dice que no existe un polímero cristalino perfecto por lo que muchos autores utilizan el término “semicristalino” (ver Figura 1.3). Un ejemplo de un polímero altamente cristalino es el nylon.



**Figura 1.3.** Representación de las regiones amorfa y cristalina en un polímero. <sup>[144]</sup>

#### 1.2.4. De acuerdo a su uso

**a) Plásticos.** Es el término más común utilizado actualmente. Existen dos grandes categorías de plásticos, para comodidad y para ingeniería, regularmente los plásticos para comodidad se producen en grandes volúmenes, aunque solo poseen las propiedades básicas, en cambio los plásticos ingenieriles presentan propiedades muy parecidas a los materiales cerámicos y metálicos, si así se desea, por lo que son más costosos y con solo el 10% del total de plásticos producidos. <sup>[4, 5, 46, 107]</sup>

**b) Fibras.** Se caracterizan por ser muy resistentes, elásticos, estabilidad térmica, hilabilidad y algunas otras aplicaciones usadas en la industria textil como: lazos, cables, neumáticos, etc. También existen fibras naturales como la seda y el algodón y otras del tipo sintético.

**c) Elastómeros.** Son polímeros con la capacidad de estirarse y retroceder rápidamente sin perder sus propiedades, poseen una microestructura en forma de red y se pueden encontrar en forma natural o sintética.

**d) Adhesivos.** Anteriormente se usaban resinas naturales, de igual manera, los adhesivos sintéticos están sustituyendo a los naturales. Actualmente existe una gran variedad de adhesivos para cada situación en particular.

**e) Recubrimientos.** Son accesorios que se usaban desde tiempos inmemoriales para proteger cualquier tipo de superficie o material, hoy en día existe una gran variedad de recubrimientos que con el tiempo fueron evolucionando hasta tener llegar a tener con los que se cuenta actualmente.

### 1.3. Factibilidad técnico-económica de los polímeros

La importancia de los materiales para el avance de la ciencia y tecnología en todos los ámbitos es muy grande. Toda persona, ingeniero, físico o científico, depende y tiene que ver con los materiales de manera continua y cotidiana, por ejemplo, en manufactura, diseño, construcción, medicina, química, etc.

Actualmente los materiales forman una parte vital de nuestro mundo, día con día se deben de tomar una variedad de importantes decisiones al momento de seleccionarlos, incluyendo si pueden mantener la forma y propiedades correctas durante su uso, si son convenientes económicamente, si tienen las propiedades fisicoquímicas deseadas, inclusive si pueden ser reciclados o si tiene algún efecto ecológico. <sup>[14, 115]</sup>

Sea cual sea el uso, siempre se debe tratar de seleccionar el mejor material para cada situación, para esto hay que conocer sus ventajas y desventajas, así como sus alcances y limitaciones. Los nuevos materiales son la clave de muchos procesos de fabricación, son la forma de desarrollar nuevas posibilidades que permitan avanzar en el campo de la ciencia, ya sea a través del perfeccionamiento de los existentes, como a través de la creación de opciones totalmente nuevas.

Existe un amplio panorama sobre las características diferenciales entre los materiales, ya sea por sus propiedades, usos, alcances, factibilidad técnico-económica, estructura, etc., sin embargo, resulta muy común clasificarlos o dividirlos entre materiales metálicos y no metálicos. En las últimas décadas, los metales y sus aleaciones han sido sin duda alguna, los materiales más utilizados que han permitido el avance de la ciencia y la tecnología en todos los campos y áreas de la sociedad, no obstante, resulta conveniente ampliar nuestra visión acerca de los materiales no metálicos, en este caso en particular de “los polímeros”.

En la actualidad los materiales poliméricos adquieren cada vez más importancia debido a sus excelentes propiedades. Como se mencionó anteriormente, algunos autores confirman que estamos viviendo en la época de los polímeros y que desde luego son los materiales del futuro. [4, 142]

Una de las vías más eficientes para reducir la dependencia de los materiales metálicos, es desarrollar nuevos materiales con propiedades similares pero si es posible incluyendo algunas mejoras. En similitud con los metales, los polímeros también pueden ser influenciados respecto a sus propiedades mecánicas, eléctricas, ópticas y térmicas, es decir, se pueden obtener materiales poliméricos muy parecidos a los metálicos si así se desea, posiblemente a costos más o menos elevados dependiendo del producto y de la aplicación, pero seguramente más ligeros, más seguros y sin duda alguna con un promedio de vida útil mayor (ver Tabla 1.1). [79, 81, 101]

**Tabla 1.1.** Algunas comparaciones entre un material polimérico y uno metálico. [81]

Características	Polímero	Metal
Densidad	Baja	Alta
Precio	Bajo	Alto
Manufactura	Fácil	Media-difícil
Corrosión	Baja-nula	Alta
Consumo energético	Bajo	Alto
Flexibilidad	Alta-baja	Rígido
Transparencia	Alta-baja	Opaco
Costo producción	Mediano-bajo	Alto

Resulta importante recalcar que los materiales no metálicos, en este caso los polímeros, aunque son fuertes rivales ante los materiales metálicos, no son los sustitutos de los mismos, sino más bien un complemento, es decir, a pesar de sus recientes avances, los materiales poliméricos todavía no alcanzan a competir con los metales en ciertos aspectos, por ejemplo, para cargas estáticas, dinámicas y cíclicas muy altas; otro aspecto muy importante, es que los materiales poliméricos ceden a elevadas temperaturas, además, sus bajas conductividades eléctricas y térmicas condicionan su usos es muchas áreas de la industria, aunque esto también puede ser una ventaja (aislantes o ser fundidos fácilmente).

Hoy en día, existen una serie de múltiples ejemplos de la utilización de los polímeros en todas las áreas de la industria, ahora se utilizan en partes de aviones, naves espaciales, barcos, componentes de máquinas, engranes, tuberías, etc., donde antes se utilizaban componentes metálicos (ver Figura 1.4). Lo que se quiere hacer notar es que no hay que verlos como suplentes o sucesores unos de los otros, sino más bien como materiales con designaciones independientes o que dan un buen efecto en combinación entre sí.

Hablando de factibilidad, existen muchas variables que hay que tener en consideración, un aspecto muy importante es el déficit de materiales metálicos con los que se cuenta actualmente, ya que cada vez se hace más difícil conseguir las materias primas para la obtención de los mismos, además de que los procesos de extracción, refinación, fundición, colado y manufactura son relativamente más complicados y costosos, por otro lado, los materiales poliméricos cuentan con fuentes muy abundantes de materias primas, además de otras ventajas como menor coste, reducción de gastos de ensamblaje, mayor longevidad, menor masa del artículo (muy importante en la industria automotriz, aeronáutica, equipos, maquinas) y facilidad de manufacturación, es decir, ofrecen diversas ventajas técnico-económicamente hablando. [13, 97, 106]



**Figura 1.4.** Ejemplos de polímeros utilizados en diversas ramas de las diferentes industrias. [17]

Otro aspecto importante a destacar, es que los materiales poliméricos desde un punto de vista de los gastos energéticos de producción, son significativamente más económicos que los metales (pudiendo haber excepciones dependiendo del producto y propiedades). [13]

De todo lo expuesto anteriormente se puede llegar a la siguiente conclusión: “el éxito o fracaso de la utilización de cualquier material, ya sea metálico o no metálico, depende de su correcta selección y uso, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, así como las condiciones del material, el diseño racional y la utilización final del artículo en cuestión”. [13]

## 1.4. Polímeros térmicos

Como se mencionó anteriormente, los polímeros ofrecen diversas ventajas, pero quizá una de las grandes desventajas, es que la mayoría no se pueden utilizar a temperaturas muy elevadas, regularmente solo se pueden explotar a temperaturas no mayores a los 200°C, sin embargo, en la actualidad la evolución referente a la tecnología de los mismos ha avanzado aceleradamente, actualmente existen polímeros capaces de resistir temperaturas mayores a los 400°C y en algunos casos aún más, algunos ejemplos son: las familias de las poliamidas (PI), los poliésteres aromáticos (APE) y algunas polisulfonas (PSU). [4, 13, 106, 108]

Existen diversos métodos para conocer las máximas temperaturas de un polímero como un análisis termogravimétrico (TG) y térmico diferencial (DTA), pero para que un polímero sea considerado térmico, debe de presentar un servicio elevado de temperatura, es decir, debe de poseer una elevada temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y de fusión ( $T_m$ ). La  $T_g$  está asociada a la parte amorfa de los polímeros, por lo que todos los polímeros presentan una transición de este tipo y en el caso de los polímeros cristalinos hay que tener en cuenta la  $T_m$  de la parte cristalina, recordando que no existe un polímero perfectamente cristalino, ya que todos los polímeros incluso los cristalinos poseen un parte amorfa (entre el 40% y 70%), explicando por qué una misma muestra tiene tanto una  $T_g$  como una  $T_m$ .<sup>[9, 13, 114]</sup>

Sin duda alguna, la propiedad más importante de un polímero térmico es la  $T_g$ , ya que cuando se experimenta esta transición, las fuerzas que mantenían unidas las moléculas son superadas por introducciones térmicas, siendo capaces de moverse con mayor facilidad (libertad de flujo), también se dice que es cuando la viscosidad alcanza su máximo valor, sencillamente es la propiedad más importante, ya que de acuerdo a esta la mayoría o todas sus propiedades cambian drásticamente.<sup>[16]</sup>

El área de los recubrimientos y/o pinturas la  $T_g$  debe ser lo suficientemente baja para permitir la coalescencia de las partículas durante la formación de la película, pero lo suficientemente elevada para asegurar una adecuada conformación (endurecimiento).<sup>[136]</sup>

Cabe resaltar que la  $T_g$  y  $T_m$  real depende de muchos factores tales como: tratamientos previos de la muestra, flexibilidad o rigidez de la cadena principal, peso molecular, entrecruzamiento de las cadenas, presencia de grupos sustituyentes, cristalinidad, etc., donde dependiendo de estos factores, se producen variaciones en la transiciones del material. El control y entendimiento de la temperatura en cuanto a su distribución y respuesta dinámica, es vital para la creación de nuevos y mejores sistemas capaces de resistir elevadas temperaturas.<sup>[9, 104, 121]</sup>

Que un material sea un polímero térmico es bastante relativo, todo depende de sus propiedades y aplicaciones finales, ya que puede haber polímeros que trabajan bien a 200°C, lo que para muchos es elevada temperatura para otros se puede considerar baja temperatura dependiendo del tipo de uso u proceso al que este destinado, por ejemplo, para las centrales de generación de energía eléctrica se pueden considerar bajas temperaturas ya que manejan temperaturas por encima de los 500°C en sus turbinas, válvulas, tuberías, etc., pero donde cada vez más procesos están siendo alcanzados por este tipo de materiales llamados “polímeros térmicos”.<sup>[105, 109]</sup>

## CAPÍTULO II

### 2. RECUBRIMIENTOS

#### 2.1. Introducción

Independientemente del tipo, la función principal de un recubrimiento proteger un sustrato del medio exterior en el que se encuentra. Actualmente existe una gran variedad de recubrimientos entre los que se encuentran los metálicos, cerámicos y poliméricos. El presente estudio se enfoca principalmente en los poliméricos (pinturas). “el actual trabajo utiliza indistintamente el termino recubrimiento y pintura”.<sup>[4]</sup>

Las pinturas son tan viejas como las civilizaciones mismas, desde la época de las cavernas, el humano ha usado este medio para pintar los muros de sus cavernas, milenios después, en la edad media existió un gran avance respecto a las pinturas artísticas, pero no en las industriales, fue hasta la 1ra guerra mundial cuando aparecen las resinas sintéticas que permiten el desarrollo de las pinturas que conocemos hoy en día.<sup>[19, 99]</sup>

La formulación de las pinturas era entonces casi un arte, los productores guardaban celosamente sus conocimientos que habían obtenido lenta y pacientemente a lo largo de pruebas y errores, donde estos pasaban de padres a hijos a través de generaciones. Los avances eran muy lentos ya que eran experimentos aislados, fue hasta principios de 1900 que los fabricantes empezaron a crear asociaciones para que hubiera un intercambio mutuo de ideas, conocimientos, negocios, supresión de abusos y extensión de mercados; es donde surge la “National Paint, Varnish and Lacquers Association” y la “Federation of societies for Paint technology”, fue en este entonces cuando en verdad empezaron a surgir buenos avances.<sup>[35]</sup>

Una buena definición para la palabra pintura es: compuesto estable finamente mezclado o disperso de un pigmento en una solución de resinas y aditivos, formando una película solida delgada relativamente elástica y adherente, cuya función es decorar o actuar como barrera física entre dos medios altamente reactivos.<sup>[20]</sup>

Los principales objetivos o funciones de una pintura son tres: 1. Proteger el sustrato del medio que lo rodea (medio ambiente) 2. Decorar alguna superficie (color, terminación, textura, expresiones artísticas) 3. Funciones especiales (menor fricción, reflectancia, etc.). Sea cual sea la función, las pinturas normalmente están formadas por cuatro componentes básicos: pigmentos, resinas, solventes y aditivos.<sup>[19, 22, 23, 116]</sup>

## 2.2. Componentes

### 2.2.1. Pigmentos

Los pigmentos son sustancias solidas insolubles orgánicas u inorgánicas finamente dispersadas, que reducidas en tamaño imparten a la película seca propiedades tales como: coloración, opacidad-brillo, resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas y aumento de volumen. Entre las características deseadas de un pigmento se encuentran: no reactividad química con los demás componentes, fácil dispersión, resistencia a la luz, al calor, humedad y agentes químicos. Su composición química, función y estructura permite clasificarlos de formas diferentes: [20, 25, 26, 100, 110, 111, 127]

- Por su naturaleza química (inorgánicos-orgánicos).
- En función de la película (funcionales-extendedores).
- Por su estructura (amorfos-cristalinos).

Es muy común confundir pigmentos con colorantes, que los pigmentos proporcionen color, no significa que sean colorantes, la principal diferencia entre ambos, es que los colorantes se disuelven en los propios componentes de la pintura (son solubles) proporcionando solo color sin ninguna aportación extra, mientras que los pigmentos son partículas insolubles que una vez seca la película proporcionan, además de color, características únicas y que los podemos encontrar en toda la gama de colores. Los principales pigmentos más utilizados en la industria de las pinturas son: [22, 26, 49]

- **Blanco.** Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ), Óxido de Zinc o Litopón ( $\text{ZnO}$ ), Óxido de Antimonio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) y blanco de Plomo [ $(\text{PbCO}_3)_2(\text{PbOH})_2$ ].
- **Rojo.** Óxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Óxido de Plomo ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), Sulfuro de Mercurio ( $\text{HgS}$ ) y disulfuro de Arsénico ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ).
- **Amarillo.** Oxido de Cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Titanio (Ti), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y sulfuro de Cadmio ( $\text{CdS}$ ).
- **Azul.** Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), Óxido de Cobalto ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ), azul ultramar y prusia ( $\text{Fe}_7\text{C}_{18}\text{N}_{18}$ ).
- **Verde.** Óxido de Cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), hidróxido de Cromo ( $\text{CrOH}_2$ ), acetato de Cobre ( $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ), ftalocianina y verde de Cobalto.
- **Negro.** Óxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), negro de humo, negro de Carbón y grafito.

**Tabla 2.1.** Costo pigmentos blancos para un cubrimiento igual. <sup>[26]</sup>

Pigmento	Costo relativo
Calcio-Titanio (rutilo)	1.0
Bióxido de Titanio (rutilo)	1.1
Bióxido de Titanio (anastasa)	1.3
Litopón	2.1
Sulfuro de Cinc	2.3
Óxido de Cinc	5.0
Blanco plomo	9.0
Óxido de Antimonio	13.0

### 2.2.2. Resinas

Las resinas también son conocidas como aglutinante, vehículo o ligante. Es una fase continua que constituye la matriz de la pintura a la cual se incorporan los otros componentes, se encarga de mantener fijos y bien dispersos los pigmentos, es decir, es un compuesto que permite mezclar todos los elementos en forma homogénea. Es la principal barrera física para proteger al sustrato por lo que debe existir buena adhesión. <sup>[20, 23, 108, 136]</sup>

La resistencia a la luz, humedad, agentes químicos y atmosféricos, son con frecuencia características necesarias para poder obtener una buena resina. Una vez seca la pintura, es la encargada de ligar todos los componentes formando una sola unidad. Las resinas influyen en la permeabilidad, resistencia química, dureza, elasticidad, brillo y resistencia a los rayos UV. <sup>[20, 26, 35, 136]</sup>

Existe una gran variedad de resinas, pero a grandes escalas pueden ser clasificadas en naturales, naturales modificadas y sintéticas. Desde de un punto de vista técnico-económico, las resinas deben elegirse de acuerdo al sustrato donde se van utilizar, al medio ambiente que las rodea, a las exigencias fisicomecánicas que estará expuesta, a las condiciones de aplicabilidad y a la expectativa del comportamiento en servicio. Algunos tipos de resinas más comunes son: <sup>[26]</sup>

- Resinas alquídicas.
- Resinas de caucho sintético.
- Resinas vinílicas.
- Resinas epoxicas.
- Resinas poliuretánicas.
- Resinas acrílicas.
- Resinas tipo poliéster.
- Resinas de silicona.

### 2.2.3. Solventes

Los solventes son líquidos orgánicos cuya función principal es la de disolver las resinas y aditivos, además de presentar un medio adecuado para la dispersión del pigmento. Estos

compuestos no son formadores de película ya que se eliminan de la pintura cuando ocurre el proceso de secado, pero que influyen en algunas propiedades importantes tales como: viscosidad, adherencia, porcentaje de sólidos, secado, facilidad de aplicación y porosidad. Desde un punto de vista técnico-económico, cuando se escoge el solvente se tienen que tomar en cuenta algunas propiedades como: poder de disolución, temperatura de ebullición, velocidad de evaporación, inflamabilidad, toxicidad, olor, color, índice volumétrico, estabilidad química y desde luego costos. [20, 25]

Los solventes deben de ser volátiles bajo las condiciones particulares en que se forma la película. El contenido de solventes puede variar; existen pinturas en polvo que contienen 0% de disolvente hasta pinturas con bajo contenido de sólidos que contienen hasta un 70% de disolvente de la composición o más. [26]

Resulta muy difícil si no es que imposible encontrar una clasificación que se acomode a todas las características de los solventes existentes, se han establecido diversas formas de clasificarlos, ya sea por sus composición química, procedencia, propiedades físicas, etc., sin embargo, una forma conveniente de clasificarlos es según sus uniones químicas. En general los disolventes pueden clasificarse en tres ramas: [26]

- Solventes con uniones por puentes de Hidrogeno débiles (hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados).
- Solventes con uniones por puentes de Hidrogeno moderadamente fuertes (cetonas y ésteres).
- Solventes con uniones por puentes de hidrogeno fuertes (alcoholes, éteres de etilén y propilén glicol).

#### 2.2.4. Aditivos

Los aditivos son productos químicos que se agregan en pequeñas cantidades para otorgar a la pintura alguna característica especial. Aunque no son los componentes principales, hoy en día prácticamente todas las pinturas los contienen ya que la mayoría de las veces se desean algunas propiedades extras que pueden proveer este tipo de aditamentos. [20, 23]

Comúnmente son componentes que se encuentran en un bajo nivel porcentual (usualmente valores inferiores al 2%) pero que sin embargo, influyen significativamente sobre muchas propiedades de la pintura en estado líquido y sobre la película seca. Los aditivos que se emplean en la formulación y elaboración de las mismas son muy variados en lo referente a su naturaleza química, función, forma de incorporación al sistema, dispersión, etc. Normalmente se les llama de acuerdo a la función que realicen, por ejemplo, un aditivo que controle la generación de espuma se le conoce como antiespumante. [26]

Los principales aditivos más utilizados son: [22, 26]

- Aditivos dispersantes.
- Aditivos estabilizantes.
- Aditivos antiespumantes.
- Aditivos desairantes.
- Aditivos activadores de superficie.
- Aditivos secantes.
- Aditivos estabilizadores de luz.
- Aditivos biocidas (bactericidas y fungicidas).
- Aditivos mateantes (rugosidad).
- Aditivos anticorrosivos.
- Aditivos ignífugos (retardantes o extintores de llama).
- Aditivos reológicos (espesantes).

Es bueno mencionar que un aditivo puede poseer diversos grados de efectividad dependiendo de la fórmula a la cual pertenece; puede ser útil en ciertas fórmulas o incluso tener efectos negativos sin ninguna razón aparente en otras, por lo tanto, es necesario tener conocimiento en este ámbito para poder seleccionar el aditivo correcto para cada fórmula en particular. [35]

Como recomendación, los componentes de una pintura deberán mezclarse íntimamente en un orden adecuado para así obtener el producto final deseado. La optimización en cuanto a su formulación es el resultado de un intenso trabajo experimental de prueba y error, sin que exista un solo tipo de recubrimiento para todos los casos en general. [25]

### 2.3. Variables de aplicación

Directamente hablando, los componentes por los que está formulado un recubrimiento son los que tienen mayor influencia en las propiedades fisicoquímicas del mismo, ya sea en estado líquido o en forma de la película seca, pero para tener un completo éxito, existen parámetros indirectos que hay que tener muy en consideración como: las condiciones de exposición, tipo y preparación del sustrato, método de aplicación y la inspección. [25, 26]

**a) Condiciones de exposición.** El primer paso es conocer el tipo de ambiente y servicio que deberá de resistir el recubrimiento. Las condiciones pueden cambiar según el medio, puede haber variaciones en la humedad relativa (ambiente seco o húmedo), acidez y salinidad (ambiente marino), gases corrosivos (ambiente industrial), temperaturas, etc., por lo que se debe de conocer bien las condiciones de exposición. Los principales medios de exposición se pueden clasificar en: atmosféricos, inmersión y enterrados. [25, 26]

**b) Preparación y tipo de superficie.** Aspecto extremadamente importante que definirá las propiedades finales entre la película seca y el sustrato. La preparación consiste básicamente en proveer la rugosidad adecuada al sustrato, así como eliminar principalmente aceites, grasas, sales, óxidos y toda clase de contaminación que se encuentre en la superficie del sustrato, esto con el fin de tener una buena adhesión.

Se dice que aproximadamente el 80% de las fallas de una pintura se debe a una incorrecta preparación de la superficie, por lo que se debe de poner una especial atención en este rubro. Debido a la importancia de la preparación de la superficie, actualmente se han estandarizado algunos métodos: [20, 25, 27, 98]

- Limpieza con solvente.
- Limpieza química.
- Limpieza manual.
- Limpieza mecánica.
- Limpieza con abrasivo.

c) **Método de aplicación.** En general existen varios métodos para la aplicación de pinturas, en cada uno es necesario conocer las condiciones de la superficie, el costo, el tipo de compuesto, la geometría y el tamaño de la superficie, entre otras variables, dependiendo de esto, variara el rendimiento y el porcentaje de pintura depositada (ver Tabla 2.2 y 2.3). [8, 27]

**Tabla 2.2.** Comparación de algunos métodos de aplicación para pinturas. [20]

Método de aplicación	Pérdidas	Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)
Brocha	5 - 8 %	65
Rodillo	8 - 10 %	120 - 260
Rociado	50 - 65 %	400 - 800
Hidráulico	35 - 60 %	600 - 1000

Los métodos más comunes para la aplicación de pintura son: [8, 20, 25]

- Brocha.
- Rodillo
- Inmersión.
- Aspersión.
- Bobina.
- Electroestáticos.

**Tabla 2.3.** Porcentaje de la pintura depositada de acuerdo al método de aplicación. [8]

Método de aplicación	Pintura depositada en el sustrato
Neumático	35-50 %
No neumático (hidráulico)	40-65 %
Electrostático	60-70 %
Electrostático sin aire	45-80 %
Disco o campana	80-90 %
Inmersión	70-80 %
Bobinas giratorias	85-90 %
Electrodeposición (catiónica)	90-98 %

d) **Inspección final.** Todo trabajo relacionado con el proceso de aplicación de una pintura debe incluir revisión en las tres fases: antes, durante y después de la aplicación. La inspección debe de ser realizada conforme a los procedimientos del fabricante y en base a los requerimientos en la descripción del sistema. Finalizado el tiempo especificado, se deben efectuar principalmente pruebas de espesor, inspección visual y adhesión. [25]

## 2.4. Sistema de pintura

Una vez determinadas las condiciones de exposición, el equipo utilizado y teniendo la superficie preparada, se procede a la etapa de pintado. Para lograr una pintura eficiente, es necesario un buen ambiente de trabajo, lo ideal es pintar con humedades relativas entre el 40% y 60% y con temperaturas entre los 10°C y los 35°C respectivamente, además, para obtener una pintura funcional, por lo general se deben de aplicar 3 capas de diferentes características, un recubrimiento primario, un intermedio y un acabado, a esto se le denomina “sistema de pintura”, aunque no siempre se utiliza (ver Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Sistema de pintura. [20]

**a) Recubrimiento primario.** Es la capa más importante de todas, es la encargada de crear fuertes enlaces con el sustrato (adhesión) y con las capas que le siguen. Es una capa fuertemente pigmentada para inhibir la corrosión y con bajos contenidos de ligante. Las características con las que debe de contar un primario son: [20, 27]

- Estabilidad química.
- Compatibilidad con el recubrimiento posterior.
- Buena flexibilidad.
- Capacidad de evitar la propagación de defectos.
- Superficie lisa y mate que promueva la adherencia.

**b) Recubrimiento intermedio.** A veces la compatibilidad entre las capas de imprimación (primaria) y acabado no son las deseadas por lo que es necesaria una capa intermedia (enlace). Estos suelen tener buenas propiedades fisicoquímicas cuya función principal es aumentar el espesor del sistema de pintura para evitar dar varias capas de acabado. Las principales funciones son: [20, 25, 27]

- Proveer espesor al sistema.
- Proveer resistencia a la humedad y permeabilidad.
- Elevar la resistencia química y cohesión entre capas.
- Mejorar los enlaces entre la capa primaria y acabado.

**c) Recubrimiento final (acabado).** Es la última capa del sistema, por ser la capa exterior es la barrera inicial contra el medio ambiente por lo que debe cumplir con algunas características: [20, 25, 27]

- Función estética (buena apariencia).
- Resistencia al ambiente, humedad y agentes químicos.
- Buena penetración para aumentar la impermeabilidad.
- Propiedades especiales (biocidas, retardantes de llama, reflectantes, etc.).

## 2.5. Secado

La cantidad de capas, el medio ambiente y tipo de recubrimiento definirán un tiempo óptimo para que la pintura quede totalmente adherida y empiece a cumplir sus funciones planteadas. Normalmente según la resina que contengan tendrán diferentes formas de secado. [23, 27, 35]

**a) Secado por evaporación de disolventes (físico).** El secado tiene lugar cuando el recubrimiento contiene líquidos volátiles. La resina no sufre ninguna variación durante el secado, a medida que el solvente se evapora, las partículas restantes se unen formando partículas cada vez más grandes hasta formar una película sólida. A este grupo pertenecen las resinas nitrocelulósicas, vinílicas, caucho, acrílicas termoplásticas, etc.

**b) Secado por oxidación.** El secado se realiza por la absorción del Oxígeno del aire después de evaporados los solventes. En este se produce una reacción entre la resina y el Oxígeno del aire que penetra en la película; una vez que los solventes se evaporaron y el Oxígeno penetró completamente, se crean cadenas tan largas y grandes que quedan prácticamente inamovibles formando la película sólida. Este tipo de secado depende principalmente del espesor ya que un valor elevado retardará el proceso de penetración. A este grupo pertenecen las resinas alquídicas modificadas con aceites secantes, las pinturas a base de aceites vegetales y los barnices fenólicos.

**c) Secado por temperatura.** Se realiza por medio de calor externo aportado en hornos de convección infrarrojos u otros métodos. Las temperaturas oscilan entre 100°C y 200°C en tiempos desde 5 min hasta 30 min regularmente. A este grupo pertenecen las resinas alquídicas, acrílicas termoestables, siliconas, epoxídicas combinadas con fenólicas, etc.

**d) Secado por reacción química.** Se produce por la acción con un segundo componente denominado catalizador o endurecedor añadido previamente a su aplicación. A este grupo pertenecen las resinas epoxi, poliéster, silicato, alquídicas, etc.

El tiempo de secado debe de ser por razones económicas tan corto como sea posible, pero con un cierto espacio para permitir que la pintura se iguale y se obtenga una película uniforme.

## 2.6. Pinturas base agua

Hoy en día, el concepto de contaminación adquirido una especial atención, este aplica a todo tipo de elementos como aire, agua y tierra, por lo tanto, la industria de las pinturas se debe concientizar o seguir ciertas metodologías para ayudar al medio ambiente, sin dejar de tener una economía competitiva y otros aspectos en general. <sup>[8, 53]</sup>

Alrededor de los años 50's casi todas las pinturas eran base solvente, en un esfuerzo por un mejor desarrollo en la tecnología, en los años 70's se empezó a dejar de utilizar pinturas base solvente para abrir el paso al uso de las base de agua o base acuosa. En las últimas décadas más y más pinturas están sufriendo un cambio de base solvente a base agua, además de que en las industrias, los solventes, componentes primarios y formulaciones, ya están siendo o serán sujetos a legislación. <sup>[28, 54, 143]</sup>

La principal fuente de contaminación en la industria de las pinturas son los llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) o mejor conocidos por sus siglas en inglés como VOC's (volatile organic compounds) que son sustancias químicas que contienen Carbono, las cuales se convierten fácilmente en gases contaminantes.

La mayoría de los VOC's, aunque no todos, son fuentes de contaminación peligrosas para el aire ya que residen como precursores en la formación del Ozono troposférico y destructores del Ozono estratosférico, provocando fuertes consecuencias dañinas para la salud como: mareos, alergias, irritación, dolor de cabeza e inclusive cáncer. <sup>[55]</sup>

Las pinturas base solvente son aquellas que utilizan diluyentes orgánicos como solventes (hidrocarburos, cetonas, éteres, aguarrás, etc.), estos a la hora de secar son la principal fuente de contaminantes en el ambiente; es aquí donde entran en acción las pinturas base agua). En los últimos años se han desarrollado tecnologías que utilizan agua en lugar de solventes orgánicos reduciendo notablemente los VOC's, además, se ha logrado obtener pinturas con propiedades finales con excelentes resultados y amigables con el ambiente. <sup>[52, 136]</sup>

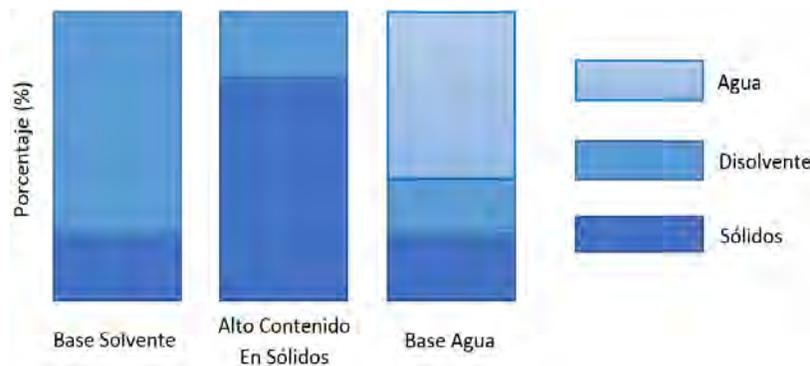
El término base agua se refiere a los sistemas de pinturas que utilizan agua como disolvente para dispersar la resina, por lo general contienen solventes con hasta un 80% de agua (ver Figura 2.2) con pequeñas cantidades de otros solventes orgánicos (entre 3-18%), pero como todo nuevo producto presenta algunas ventajas y desventajas: <sup>[26-28, 53, 136]</sup>

Ventajas:

- Reducen los VOC's (amigable con el medio ambiente).
- Reducen la toxicidad, mejorando la seguridad y salud laboral de los operarios.
- Facilidad de limpieza (incluso con la misma agua).
- Se puede utilizar equipo existente para la mayoría de los casos.
- Existen muchos tipos de resinas para formulaciones base agua.
- No poseen olor (importante para pinturas interiores).
- Bajo o ningún riesgo de fuego (no son inflamables).
- Más tolerantes a la humedad (elevado peso molecular).
- Reduce la dependencia de los combustibles fósiles.

Desventajas:

- Tienen tendencia a formar espuma (burbujas).
- Requieren una mejor preparación de la superficie (más limpia).
- Requiere mayores tiempos y temperaturas de secado (mayores costos).
- Puede haber problemas con la atomización (reducción eficiencia de trasferencia).
- Bajo poder de penetración y adhesión.
- Floculación (inestabilidad de almacenamiento).
- Algunas propiedades son afectadas (pérdida de brillo y menor resistencia desgaste).
- El agua incrementa la corrosión (pueden ser necesarios materiales especiales).



**Figura 2.2.** Contenido porcentual de sólidos, solvente y agua en los tipos de pintura. [26]

El costo del agua es bajo, pero no significa necesariamente que las pinturas base agua sean más económicas, es decir, existen diferentes tipos de solventes orgánicos que se pueden utilizar, sin embargo, agua solo hay una, reduciendo las alternativas; otro aspecto importante es que la energía de vaporización del agua es elevada, resultando un mayor consumo de energía, además de que evapora más lentamente que los solventes orgánicos a las mismas presiones. La Tabla 2.4, muestra una comparación de costes de las pinturas convencionales frente a las base agua. [27, 28]

**Tabla 2.4.** Comparación general de una pintura base solvente con una pintura base agua. <sup>[27]</sup>

Tipo de pintura	Peso específico (kg/)	Disolvente (kg/l)	Sólidos (kg/l)	Sólidos en peso (%)	Rendimiento (m <sup>2</sup> )	Coste pintura (pts/l)	Coste pintado (pts/l)
Base solvente	1.1	0.55	0.55	50	14.3	390	27
Base agua	1.2	0.68	0.52	43.3	12.2	400	33

Actualmente uno de los mayores problemas de la humanidad es el calentamiento global, un camino muy viable para reducir dicho problema es sin duda la disminución de los VOC's, desafortunadamente la economía mundial es adicta a la energía. Según va aumentando la población mundial, va aumentando la demanda económica y por lo tanto la energética, donde cada vez se necesita de más fuentes para abastecer dicha demanda, pero haciendo uso de las nuevas tecnologías es posible ayudar a disminuir tal dependencia fósil. <sup>[118]</sup>

Actualmente las pinturas base agua han desplazado casi por completo a las base solvente, sin embargo, todavía existen algunos productos, principalmente lacas y esmaltes que aun utilizan este tipo de compuestos orgánicos volátiles por lo que hay que seguir trabajando en este ámbito.

A final de cuentas, la formulación, componentes, ambiente de exposición, tipo de sustrato, preparación de la superficie, espesor de la película, cantidad de capas, método de aplicación, tipo de secado, experiencia del operador, etc., determinarán la eficiencia de cualquier recubrimiento, solo queda tratar de escoger la mejor opción posible, tomando en cuenta las diferentes variables y hacerlo de la forma más consiente para ayudar a nuestro planeta.

## CAPÍTULO III

### 3. NANOMATERIALES

#### 3.1. Introducción

La introducción de nuevos materiales ha sido la cimentación para el avance y descubrimiento de nuevos conocimientos en la ciencia. Nanomateriales parecen revolucionar la tecnología en cada sector del aspecto humano. La palabra “nanotecnología” se utiliza para definir técnicas y ciencias que se aplican a nivel de la nanoescala, es decir, tecnología que permite trabajar y manipular estructuras moleculares y atómicas, obteniendo materiales a escalas nanométricas con propiedades únicas. Unas buenas definiciones para la palabra nanotecnología son: <sup>[30]</sup>

En el libro B. Viswanathan se establece que es: “El estudio, diseño, creación, síntesis y manipulación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de los materiales a nivel nanoescala (1-100 nm)”. <sup>[36]</sup>

M. Kwiat, S. Cohen and F. Patolsky establecen que es: “Diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas bajo la manipulación controlada del tamaño y forma a una escala atómica o nanométrica, que produce estructuras, dispositivos y sistemas con al menos una o más propiedades superiores que el material original”. <sup>[137]</sup>

Para entender un poco este concepto, primeramente hay que definir lo que es un nanómetro, el prefijo “nano” quiere decir  $1 \times 10^{-9}$ , es decir, una millonésima parte de un metro, por ejemplo, al dividir 1 metro (m) entre 1,000, se obtiene el milímetro (mm), ahora, al dividir un milímetro entre otros 1,000, se obtiene 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) y finalmente al dividir 1 micrómetro entre otros 1,000 se obtienen el denominado nanómetro (nm).

El desarrollo de esta ciencia se produce a partir de las propuestas hechas por Richard Feynman quien es considerado el padre de la nanociencia (premio nobel de física 1959), quien propuso en su conferencia “there is plenty of room at the bottom”, que si se pudieran fabricar y manipular materiales a niveles atómicos y moleculares, se podría realizar una cantidad de innumerables nuevos descubrimientos. <sup>[31]</sup>

Hubo que esperar algunos años más para que los científicos que trabajaban en el campo de los nanomateriales pudieran tener avances considerables, esto se dio a causa de la aparición

de la microscopia de túnel de barrido (STM) y el microscopio de fuerza atómica (AFM), permitiendo a los expertos primero, observar los materiales a escala atómica y después, manipular átomos individuales, es decir, es necesario explorar las propiedades físicas y químicas fundamentales de los nanomateriales para subsecuentemente explotar tales características a nivel tecnológico. Hoy en día, los nanomateriales abarcan y están trabajando en muchos campos de la sociedad: [30, 31, 36, 129, 134, 139, 140]

- Ciencias de los materiales y seguridad.
- Área de la salud y medio ambiente.
- Producción y almacenamiento de energía.
- Tecnologías de la información.



**Figura 3.1.** Visión futurista de los nanorobots en el torrente sanguíneo. [30]

La idea es sencilla, muchas de las propiedades dependen de cómo se comporten sus electrones que se mueven en su seno o de cómo estén ordenados sus átomos. En un material nanométrico el movimiento de los electrones está muy limitado por las dimensiones del propio material, además, la proporción de átomos en la superficie con respecto al interior es por mucho, más alta que en materiales de mayor tamaño (incremento área superficial). [30]

Según su forma y tamaño, los nanomateriales influyen en varios campos de la tecnología y en la mayoría de las propiedades de los materiales (materiales a la carta): [36, 108, 140]

- Propiedades químicas (reactividad, catálisis).
- Propiedades mecánicas (adhesión, dureza, resistencia, etc.).
- Propiedades térmicas (temperatura de transición vítrea “T<sub>g</sub>” y de fusión “T<sub>m</sub>”).
- Propiedades ópticas (absorción y dispersión de luz).
- Propiedades eléctricas y magnéticas (conductividad eléctrica).

### 3.2. Métodos de obtención y síntesis de nanomateriales

En el área de la nanotecnología se diferencian principalmente dos tipos de rutas: el método “de arriba hacia abajo (top-down)” y “de abajo hacia arriba (bottom-up)”. [31, 32, 137, 139, 140]

a) **De arriba hacia abajo (Top-down).** Este tipo de ruta tienen que ver con la miniaturización de los materiales, es decir, de un material con escalas mayores se va reduciendo hasta obtener un material a escala nanométrica. Se puede obtener a partir de diferentes procesos como litografía, molienda y desfragmentación de materiales. Un buen ejemplo se encuentra en la electrónica, a través de los años hemos visto como los chips integran cada vez más transistores por unidad de superficie, haciendo los equipos más pequeños, rápidos, portables y con un consumo energético mínimo (ver Figura 3.2).

b) **De abajo hacia arriba (Bottom-up).** En relación al anterior, trabaja a la inversa, es decir, a partir de unidades a escala molecular, se van montando o ensamblando entre sí, creando sistemas de mayor tamaño con propiedades concretas. Se pueden obtener a través de síntesis en fase gaseosa, la técnica Vapor-Líquido-Sólido (VLS), por deposición electroquímica y por crecimiento de la solución. Tipo de síntesis también conocida como “auto-ensamblado”.

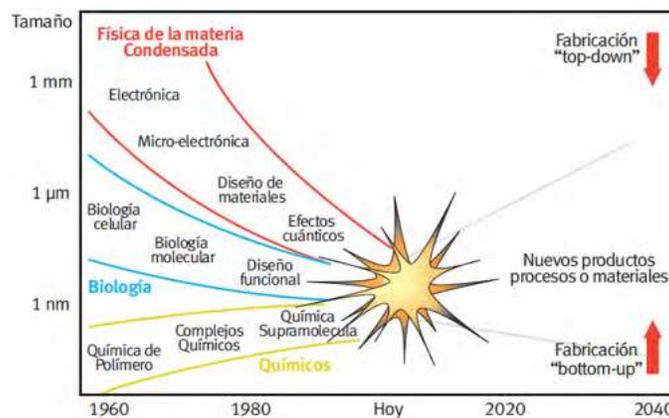


Figura 3.2. Enfoque multidisciplinario de las rutas Top-down y Bottom-up. [31]

Los métodos de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (Top-down y Bottom-up), son las formas o rutas que se pueden seguir para la obtención de nanomateriales, sin embargo, las principales estrategias o técnicas para la síntesis de materiales nanométricos en si son: [36, 119]

1. *Técnica de evaporación en fase gaseosa.* Consiste en la vaporización de metales en presencia de un gas inerte. La vaporización puede ser alcanzada por calentamiento (plasmas térmicos o de microondas, hornos, sputtering), rayos de electrones o a laser (pirólisis). A medida que el material se va evaporando, se va formando un racimo de moléculas en fase gaseosa; posteriormente los racimos formados pueden ser condensados en sustratos adecuados dando lugar a partículas de distinta distribución de tamaños y morfologías. Este proceso depende principalmente de la presión, tipo de gas y temperatura del proceso.

2. *Técnica de posicionamiento.* Utilizado principalmente para obtener partículas metálicas solvatadas (asociadas), donde los átomos y racimos son incrustados en matrices orgánicas sólidas (arenosas o poliméricas) para obtener materiales con propiedades únicas.

3. *Técnica mediante reacción química.* Esta técnica utiliza la combinación de reacciones químicas. Se trata de una solución homogénea libre de aglomeraciones para la obtención de diferentes nanopartículas, pueden obtenerse mediante métodos conocidos como nucleación y crecimiento en solución, coloides de asociación y síntesis sol-gel.

Los principales factores que afectan el crecimiento y ruta de los nanomateriales son:

- La cinética de crecimiento y nucleación.
- La concentración de los reactivos.
- La estructura del agente estabilizador.
- El orden de los reactivos
- La naturaleza del agente de nivelación.
- El pH y temperatura del medio utilizado.

### 3.3. Clasificación

Una clasificación muy empleada es aquella que hace referencia a la composición. La agencia del medio ambiente (EPA) de EUA ha clasificado los nanomateriales en cuatro diferentes grandes grupos: [30, 32, 36, 120, 133]

**a) Nanomateriales basados en el Carbono.** Estos tipos de nanomateriales están compuestos mayoritariamente por Carbono. Suelen adoptar diversas formas como esferas huecas o elipsoides (fullerenos), cilindros (nanotubos) y láminas (grafeno). Estos tipos de materiales presentan aplicaciones muy interesantes como el desarrollo de recubrimientos mejorados, materiales más ligeros, resistentes, duros con propiedades eléctricas-térmicas excepcionales.

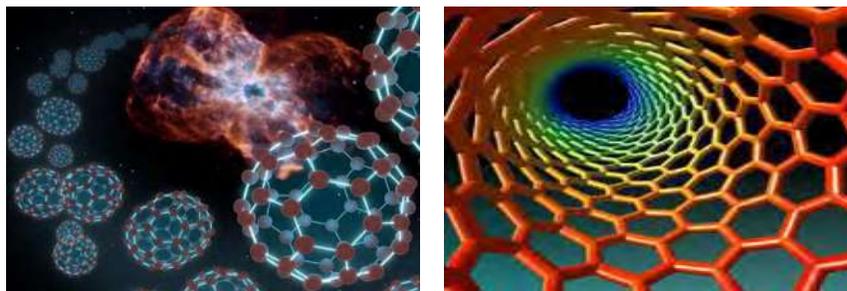


Figura 3.3. Ejemplo de las estructuras denominadas fullerenos y nanotubos de Carbono. [30]

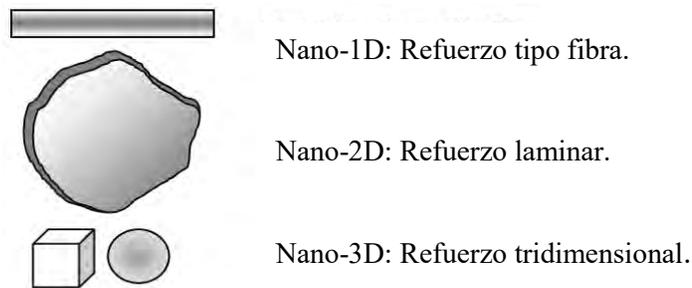
**b) Nanomateriales basados en metales.** Estos tipos de nanomateriales están compuestos por partículas metálicas como Oro, Plata, Platino, óxidos metálicos, dióxido de Titanio y puntos cuánticos (sulfuro de Cadmio y seleniuro de Cadmio) cuyas propiedades varían en función del tamaño. Estos materiales presentan aplicaciones interesantes en el área de la medicina (nanorobots), informática, telecomunicaciones, etc.

**c) Nanomateriales basados en dendrímeros.** Este tipo de materiales están compuestos por polímeros de tamaño nanométrico contruidos a partir de unidades ramificadas. La superficie de los dendrímeros tiene numerosos extremos de cadena que permiten adaptarse de manera específica para obtener propiedades químicas deseadas, además, los dendrímeros tridimensionales poseen cavidades en sus estructuras, lo que les permite introducir otras moléculas obteniendo beneficios extras muy utilizados en la biomedicina principalmente.

**d) Nanomateriales compuestos.** Este tipo de materiales son compuestos que combinan por lo menos dos o más tipos de nanopartículas de igual o mayor tamaño, que trabajando sinérgicamente, ayudan en la obtención de materiales con propiedades mejoradas en comparación a las iniciales de cada elemento independiente. Pueden ser clasificados en nanocompositos de matriz cerámica, metálica y polimérica o también dividirlos en dos grandes grupos: nanocompositos con base no polimérica y con base polimérica. Las nanopartículas como la arcilla están siendo actualmente usadas en este rubro.

Otra clasificación muy rápida de los nanomateriales puede ser dependiendo del número de dimensiones de la partícula añadida, a veces conocida como refuerzo (Figura 3.4). [33, 40, 137]

- Nano – 0D. Puntos o partículas isodimensionales (esferas de sílice).
- Nano – 1D. Estructuras largas (nanotubos o nanofibras).
- Nano – 2D. Estructuras laminares (nanoarcillas, grafeno).
- Nano – 3D. Policristales o solidos nano organizados (fullerenos).



**Figura 3.4.** Representación esquemática de las dimensiones de las nanopartículas. [33]

### 3.4. Nanomateriales poliméricos

Como se mencionó anteriormente, los polímeros son materiales con propiedades muy buenas que les confiere su naturaleza química, por lo que son utilizados en muchas aplicaciones por encima de los materiales metálicos y cerámicos, no obstante, las exigencias de los mismos va en aumento, lo que ha obligado a modificarlos agregando otros compuestos (nanorellenos). [34]

Un polímero nanocompuesto se define como la combinación de una matriz polimérica y componentes que tienen al menos una dimensión en la escala de los nanómetros, es decir, un material con al menos dos fases formado por la dispersión de un nanorefuerzo en un polímero. [33]

Los nanopolímeros han tenido un reciente interés en los últimos años gracias a sus prometedores resultados. Un punto importante es que con una pequeña cantidad de nanocompuesto (1-5%) se puede mejorar enormemente las propiedades de un material (mecánicas, térmicas, degradativas, ópticas, eléctricas, etc.) sin a veces comprometer otras propiedades que se desean mantener. [125, 126]

No obstante, el gran reto es controlar la interface, la dispersión, la distribución y las interacciones en la misma, lo que no es fácil, por lo tanto a veces no se podrán obtener propiedades finales exactas deseadas, teniendo que sacrificar algunas características, además, a su vez dependerá del proceso utilizado y de las dimensiones del nanorefuerzo. [33, 125]

En el área de los recubrimientos, los componentes nanométricos más utilizados son los nanopigmentos y nanorellenos, aunque actualmente se utilizan los nanoaglutinantes y nanoaditivos. En comparación con las partículas convencionales, las nanopartículas proveen características especiales a las pinturas tales como: reflectancia, resistencia a la abrasión, resistencia térmica, resistencia a la radiación (UV), resistencia a defectos superficiales y corrosión, disminuye la permeabilidad e incrementa la dureza, adhesión y la flexibilidad; todo esto debido al diminuto tamaño, fuertes actividades y elevada área superficial. Por otro lado, no todo es tan sencillo, la dispersión y estabilidad de los nanorellenos puede ser difícil de lograr ya que tienden a aglomerarse debido a su elevada energía superficial. [28, 54, 125, 126]

Una ventaja muy marcada de las nanopartículas, ya sean orgánicas o inorgánicas, es que trabajan sinérgicamente, además, la incorporación de nanopartículas en compuestos poliméricos, desencadenarán una nueva generación de recubrimientos con propiedades particulares y mejoradas. [54, 76]

### **3.5. Efectos de los nanomateriales**

El incremento en la calidad de vida es otro aspecto muy importante en la actualidad, la nanotecnología puede proveer diversas soluciones a esta problemática, aunque desde otro punto de vista, también puede poseer riesgos. Varias organizaciones han mostrado su desconcierto acerca de los potenciales efectos ambientales y de salud que pueden presentar los nanomateriales, ya que debido a sus dimensiones, pueden penetrar en lugares indeseables provocando efectos desconocidos.

En el 2008 la nanocomisión requirió una mínima caracterización de estudios para conocer las propiedades y efectos de los nanomateriales antes de ser utilizados. Entre las variables a conocer se encuentran: [41, 138, 141, 145]

- Composición química (pureza, cristalinidad).
- Tamaño - distribución de partícula (área superficial).
- Morfología de la superficie.
- Grado de aglomeración y agregación.
- Química (reactividad, grupos, solubilidad en agua).

De acuerdo al medio ambiente y a la salud humana, también se realizaron algunos criterios a cumplir con el fin de tratar evitar futuros riesgos que afecten dichos conceptos. Tales estudios fueron basados en modelos probabilísticos y con la experiencia en los campos de la nanotoxicología y la ecotoxicología. [41, 132, 146]

**Tabla 3.1.** Criterios de normalización para el uso de los nanomateriales. [41]

Medio ambiente	Salud humana
Indicación de los efectos peligrosos.	Toxicidad crónica y aguda.
Disolución en agua.	Deterioro del ADN.
La tendencia aglomerarse o sedimentarse.	Cruce y daño en los tejidos.
Efectos residuales.	Daños y trastornos cerebrales.
Estabilidad durante la incineración.	Efectos gastrointestinales, en la piel y vías respiratorias.

Los nanomateriales pueden ser sin lugar a duda una alternativa muy interesante para la solución de muchos aspectos de la vida diaria, sin embargo, esto no quiere decir que sean utilizados sin ningún tipo de precaución, aunque son materiales muy prometedores, también debe crearse una conciencia y realizar estudios antes de ser utilizados, ya que debido a sus dimensiones pueden introducirse vía oral, respiratoria, tejido cutáneo e intravenoso en el cuerpo humano, pudiendo provocar algunos efectos adversos desconocidos. [130]

No obstante, no todos son riesgos, actualmente se está trabajando con la llamada “nanotecnología verde”, que en combinación con la “química verde”, pueden ser la llave para mantener un medio ambiente sostenible en el siglo XXI, ya sea reduciendo o eliminando la generación de sustancias peligrosas, utilizando productos naturales, solventes no peligrosos y procesos energéticos eficientes en la preparación de los nanomateriales. [135]

**Tabla 3.2.** Algunos nanomateriales tóxicos. [138]

Nanomateriales tóxicos	
Selenio de Cadmio (CdSe)	Óxido de Hierro
Oxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	Oxido de Silicio
Fullerenos	Oxido de Cobre
Carburo de Silicio (SiC)	Níquel (Ni)
Alúmina	Plata (Ag)

### 3.6. Nanoeconomía

Indudablemente estamos viviendo en la era en que la tecnología y la innovación son factores clave para el progreso. La innovación tecnológica es una herramienta altamente eficaz para lograr solucionar algunos aspectos de los países en general. A nivel mundial, en naciones tecnológicamente líderes, se habla de “tecnologías disruptivas”, es decir, tecnologías con un inmensurable poder de revolucionar el presente, la nanotecnología es considerada precisamente una tecnología disruptiva. <sup>[36]</sup>

Según estudios muy recientes y alarmantes, la distancia entre países desarrollados y países subdesarrollados se incrementará a causa de estas tecnologías disruptivas, por ejemplo, para desarrollar nanotecnología se necesita de inversiones en educación, ciencia, tecnología, investigación, creación de empresas, etc., que indudablemente provocarán gastos económicos, pero países que no decidan transitar este camino, estarán obligados a una dependencia económica cada vez mayor de países que si lo hicieron, puesto que en un futuro no tendrán otra opción más que comprar nanotecnología que abarcará el mercado en varias áreas (ver Figura 3.6) por sus incomparables ventajas. <sup>[31]</sup>

A la vista de las posibles aplicaciones de la nanotecnología, muchos países están llevando a cabo programas cuyos fondos públicos han aumentado rápidamente. En el año 1997 la inversión pública global en nanotecnología apenas llegaba a los \$430 millones de dólares, posteriormente ascendió a \$3 billones en el 2003, \$4.6 billones en el 2004, \$5.9 billones en el 2005 y de \$6.4 billones en el 2006. Respecto a la inversión privada mundial fue de \$4 billones en el 2004, \$5 billones en el 2005 y de \$6 billones en el 2006. En el año 2008 la inversión total mundial fue de aproximadamente \$18.1 billones de dólares, de los cuales el 60% perteneció a la investigación pública, lo anterior convierte a la nanotecnología en el proyecto científico más financiado en la historia y se espera siga aumentando. <sup>[65, 134]</sup>

La ventaja de dicho concepto, es que puede proporcionar soluciones que saquen a flote la economía de un país, aunque es un sector muy competitivo, Estados Unidos (US), Japón y Europa (EU) son las naciones más interesadas en este concepto. De acuerdo a la OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) en el 2006, U.S. obtuvo el 34.6% de las nanopatentes, seguido por Japón con el 29.2% y la Unión Europea con el 28.4%. El esfuerzo de Estados Unidos en esta rama es impresionante, aparentemente más de 5,000 proyectos están en curso, así como 26 centros de investigación dedicados exclusivamente al área de la nanociencia y nanotecnología, además, existen decenas de institutos investigadores relacionados con este tipo de proyectos con aproximadamente 10,000 nuevos estudiantes capacitados cada año, lo que lo hace la principal potencia mundial en este ámbito. <sup>[134]</sup>

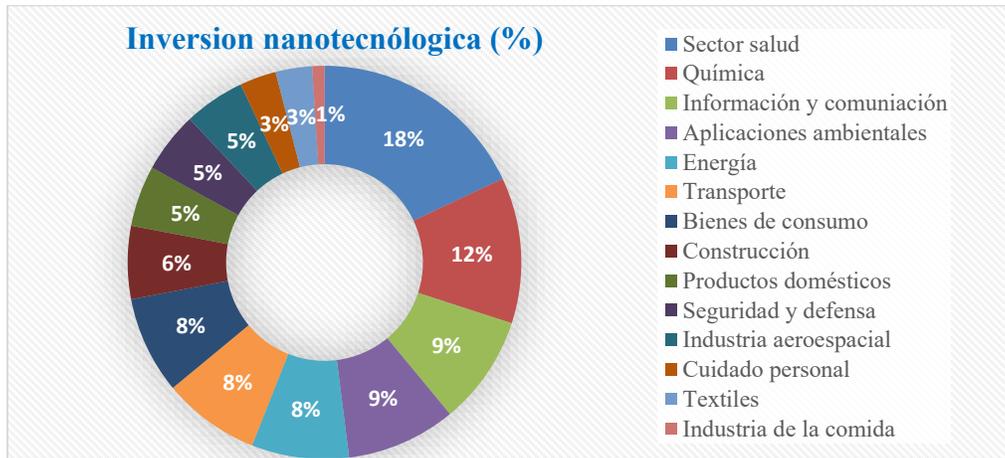


Figura 3.5. Inversión de la nanotecnología en las diferentes áreas de la sociedad. [134]

Otro aspecto importante es que la nanotecnología posee un amplio campo de acción, el número de artículos y patentes aumenta día con día (Figura 3.7). Debido a su naturaleza, la nanotecnología aplica en diversas áreas con gran versatilidad de aplicaciones, esto facilita encontrar una rama que pueda satisfacer algún interés de un emprendedor o inversionista.

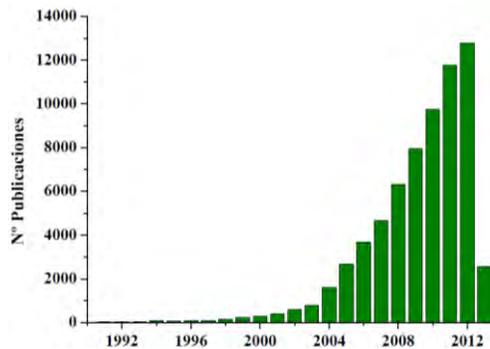


Figura 3.6. Número de publicación con la palabra clave nanopartícula (PubMed 28/02/2013). [32]

Referente al mercado nanotecnológico, las ganancias fueron de \$12.6 billones en el 2004, rápidamente incrementó a \$50 billones en el 2006, \$100-150 billones en el 2008, \$500 billones para el 2010 y se espera que para el año 2015 sea de \$1-2 trillones de dólares. Las posibilidades que se abren día con día gracias a la nanotecnología, la convierte en un campo de inversión a futuro muy bueno para el desarrollo de productos nuevos e innovadores que solucionen problemas antes no resueltos con mayor precisión y eficiencia, es decir, hablar de un producto a base de nanotecnología es hablar de “soluciones inteligentes”. [30, 134]

Por estos aspectos y por todo lo mencionado anteriormente, la revolución de la nanotecnología, ha tenido, tiene y tendrá en un futuro no muy lejano un impacto en nuestras vidas, trabajos, economías, en los países y en la sociedad en general, por lo tanto, es importante poner especial atención en este tipo de tecnología que apenas va encontrando su curso en la historia de la humanidad. [135]

## CAPÍTULO IV

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1. Reflectancia

La radiación emitida por el sol comprende una gamma continua y muy extensa de ondas electromagnéticas con longitudes de onda ( $\lambda$ ) diferentes, que en general permiten el desarrollo de la vida en la tierra, sin embargo, algunos tipos de ondas son perjudiciales para la salud, afortunadamente, existe una barrera de filtración atmosférica que impide el paso de rayos con mayor proporción energética. De acuerdo al presente estudio, se enfoca principalmente en los rayos UV, rayos visibles y rayos infrarrojos: [37, 38, 39, 150]

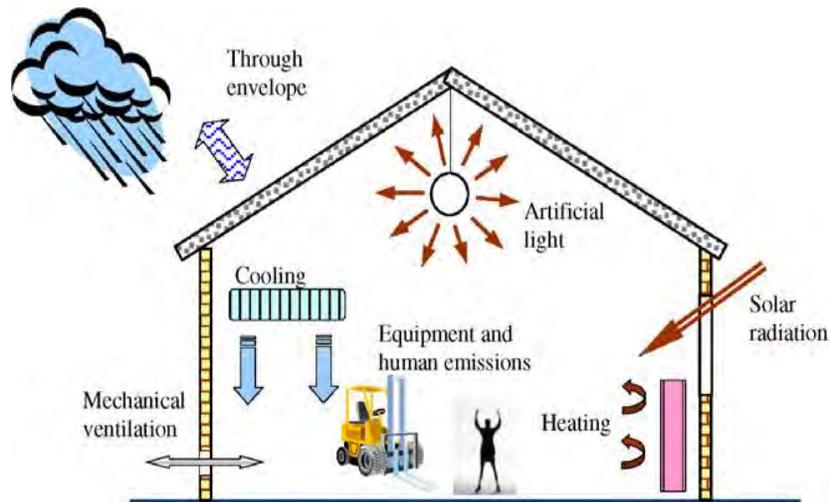
- Rayos ultravioleta UVA ( $\lambda$  400 - 320 nm), UVB ( $\lambda$  320 - 290 nm), UVC ( $\lambda$  290 - 100 nm), con tan solo el 5% de la radiación solar incidente en la superficie terrestre.
- Rayos en la zona de luz visible ( $\lambda$  400 nm - 780 nm), con el 43% de la radiación solar incidente en la superficie terrestre.
- Rayos infrarrojo IRA ( $\lambda$  760 - 1,400 nm), IRB ( $\lambda$  1,400 - 3,000 nm), IRC ( $\lambda$  3,000 - 10,000 nm), con el 52% de la radiación solar incidente en la superficie terrestre.

La radiación solar posee grandes beneficios, sin embargo, también posee algunos aspectos adversos, uno de ellos en particular es el sobrecalentamiento de la superficie terrestre en algunas áreas. Cuando la radiación solar incide sobre los cuerpos, tiende a aumentar su temperatura por el mecanismo de transferencia de calor conocido como radiación, este fenómeno es a veces indeseable en lugares donde se requieren mantener espacios frescos para el desarrollo de las actividades humanas.

El calentamiento de casas, industrias, escuelas, oficinas, hospitales y edificios en general, es una problemática en lugares con altos niveles de radiación ya que no permite el confort deseado (altas temperaturas), además de que se tienen que realizar gastos de adecuación, haciendo uso de aire acondicionado o materiales altamente costosos. [47].

Mundialmente aproximadamente entre el 40-45% de la energía total es consumida en los edificios, tan solo en EU cerca del 50% es consumida en ellos, donde gran cantidad de esta energía es consumida por el uso de aire acondicionado para calentamiento o enfriamiento de espacios según sea el caso. [43, 65, 70]

La mayoría de las veces hay una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios, ya que fluye calor a través de los techos, ventanas, pisos, puertas y aire infiltrado, esto es conocido como “la fábrica de transferencia de calor” (ver Figura 4.1). [50]



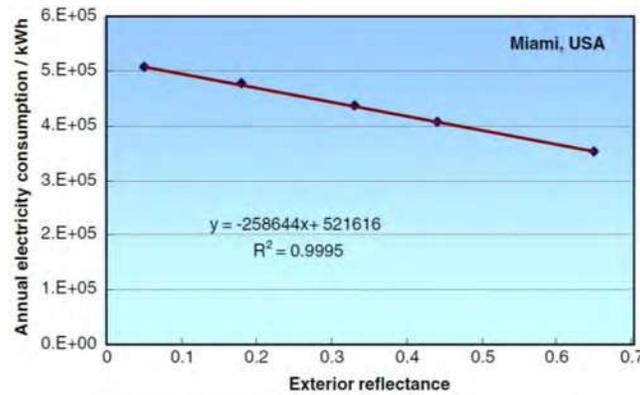
**Figura 4.1.** Fábrica de transferencia de calor. [43]

El calor puede ser ganado o perdido, dependiendo si es transferido desde o hacia el edificio. Un análisis exacto de transferencia de calor puede ser muy complejo ya que se tienen que tomar en cuenta muchos factores: [42, 47]

- La geometría de las paredes, techos, pisos, etc. Considerando la gran variedad de materiales con sus diferentes propiedades termofísicas.
- Considerar minuto a minuto todos los cambios ambientales exteriores como la variación de la radiación, la velocidad y dirección del viento, la humedad, la temperatura, etc.
- Considerar todas las fuentes de calor dentro del edificio como personas, aparatos electrodomésticos, lámparas, etc.

Muchas o más bien todas las veces, la geometría, las condiciones ambientales y las fuentes de calor en los edificios no pueden ser controladas, solo queda seleccionar el mejor tipo de recubrimiento posible para aportar beneficios extras a cada construcción en particular.

Es aquí donde entran en acción los recubrimientos reflectivos, recientes investigaciones han demostrado que los recubrimientos contribuyen en gran medida en la distribución de energía en las construcciones, aportando o ahorrando hasta aproximadamente el 40-50% del consumo de energía (ver Figura 4.2). Algunos estudios demuestran que dependiendo de la ubicación, estación del año y orientación del edificio principalmente, con un buen recubrimiento reflectivo, se pueden obtener gradientes de temperatura entre 4°C y hasta 20°C entre la superficie interior y exterior (funcionando mejor en verano que en invierno). [50]



**Figura 4.2.** Ejemplo de la regresión del consumo anual de electricidad en la relación con la reflectancia exterior en la ciudad de Miami USA. [43]

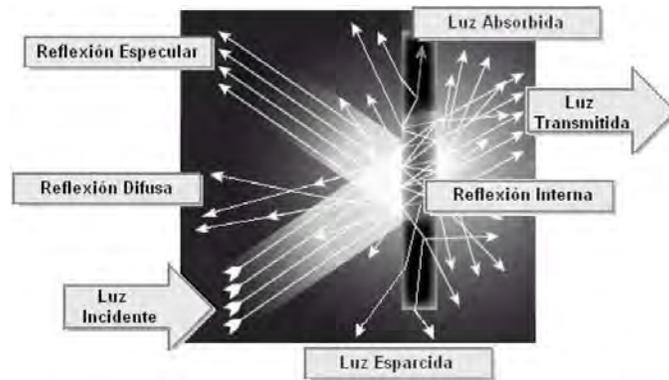
La reflectancia de las superficies es la capacidad que tienen los cuerpos para reflejar la radiación solar. Se define como la relación entre el flujo luminoso incidente y el flujo reflejado. La reflectancia de una superficie se expresa en términos adimensionales con fracciones de 0 a 1 o en porcentaje de 0% a 100%, es decir, cuando un recubrimiento tiene un índice de reflectancia del 75% quiere decir que  $\frac{3}{4}$  partes de la radiación solar es regresada a la atmosfera, mientras que el otro 25% es absorbida o transmitida por la superficie, es por esto que mientras más grande sea el índice reflectivo menor es la absorción y menor será la transferencia de calor. [45, 150]

**Tabla 4.1.** Índice de reflectancia de algunos materiales. [127]

Material	Índice de reflectancia (%)
Nieve reciente	86%
Nubes brillantes	78%
Pintura blanca	75%
Nubes promedio	50%
Madera clara	30-50%
Concreto	40%
Desiertos	21%
Bosques	8%
Pintura negra	5%
Planeta tierra en general	37-39 %

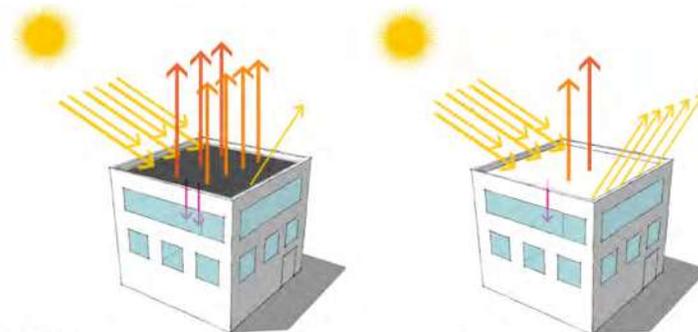
Los principales factores que determinar la funcionalidad y el desarrollo de un recubrimiento reflectivo son: [43]

- Porcentaje de reflectividad (mayor reflectividad, mejor aislante térmico).
- La emisividad del material (capacidad de desprender calor).
- El ángulo de radiación incidente sobre la superficie reflejante.
- La orientación del edificio.
- La dirección del flujo de calor.
- Lugar de uso (mayor eficiencia en techos que en paredes).



**Figura 4.3.** Fenómenos que ocurren como consecuencia de la interacción luz-materia. [48]

Se sabe que el color de una superficie influye en buena medida en su temperatura exterior; superficies blancas tienden a ser más frescas (reflejan los rayos solares). Dependiendo de los componentes se calcula que una superficie negra estándar tiende a aumentar la temperatura hasta 50°C a pleno sol y una superficie blanca estándar tiene un incremento de tan sólo 8.1°C, sin embargo, existen otras propiedades físicas que determinan la capacidad de transferir el calor como: la conductividad térmica, densidad, calor específico y algunas propiedades superficiales como reflectancia, absorptancia, emitancia y transmitancia (Figura 4.3). [45, 152]



**Figura 4.4.** Efecto albedo sobre la superficie de un edificio. [45]

A ésta y otras estrategias se les conoce en inglés como COOL ROOFS (techos frescos). Los Techos reflectivos (Figura 4.4) son una alternativa de eficiencia energética, financieramente viable y una solución sustentable para mitigar los efectos de aumento de temperatura en las ciudades. Estudios demuestran que la zona urbana abarca cerca del 1% de la superficie total terrestre, donde el área promedio de superficie de los techos varía entre el 20-25% dependiendo de lo densa que sea la ciudad, es decir, la superficie total mundial de techos es de aproximadamente  $3.8 \times 10^{11} \text{ m}^2$  lo que hace un excelente espacio para aplicar técnicas de mitigación ambiental, ya sean los techos verdes o las mencionadas “pinturas reflectivas”. [145]

Si se tuvieran más superficies reflectantes que son parte del tejido urbano como pavimentos, techos, edificios, construcciones, etc., con valores elevados de reflectancia, contribuirían a disminuir la temperatura del aire y el calentamiento en general (efecto albedo). [45, 145]

La tecnología de los techos frescos es bastante conocida y aplicada en Estados Unidos donde existen estándares para su medición, adicionalmente, se cuenta con una infraestructura de organizaciones (Environmental Protection Agency “EPA”) que proveen información sobre dicha tecnología para incentivan su uso, además de que regula las emisiones de VOC’s. En México esta tecnología no es extensamente conocida ya que existe poca información sobre productos y beneficios de cubiertas reflectivas disponibles en el país. <sup>[131]</sup>

En el año 2001 la Secretaría de Energía (SENER) publicó a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) la norma oficial mexicana NOM-008-ENER-2001 (eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales) que obliga a los diseñadores a que todos los edificios nuevos y que no se usen con fines habitacionales, limiten la ganancia de calor a través del envolvente. <sup>[45]</sup>

En el año 2011 la SENER publica la norma NOM-020-ENER-2011 (eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional); de manera similar, esta norma obliga a que los edificios que se construyan para uso habitacional, limiten la ganancia de calor a través de su envolvente. <sup>[45]</sup>

Los techos frescos o recubrimientos reflectantes son una opción sencilla y económica en cuanto a uso y gastos instalación que pueden ayudar a disminuir la transferencia de calor, ya que es poco el material utilizado para lograr grandes beneficios, es decir, con simples capas delgadas en el rango de las micras (poco material), es posible lograr decrementos significativos de temperatura en el interior de los edificios, además de que ayudan a mitigar el calentamiento global. <sup>[122, 123]</sup>

En cuanto a la nanotecnología, recientes estudios han demostrado que la incorporación de nanomateriales en el área de los recubrimientos (específicamente reflectivos), pueden ayudar obtener mejores resultados que las pinturas comunes. Nanorecubrimientos son considerados una excelente, eficiente y relativamente económica alternativa para la protección y reducción de transferencia de calor en superficies expuestas a la radiación solar. Pinturas con partículas en el rango nanométrico ofrecen una mejor cristalización (recubrimientos cristalinos pueden presentar mayor índice reflectivo que los amorfos). <sup>[42, 60]</sup>

Cabe señalar que los mayores ahorros energéticos y beneficios ambientales relacionados, se logran utilizando la combinación adecuada de tecnologías, experiencias y conocimientos, por ejemplo, en el área de los recubrimientos se necesita de estos complementos para la creación de un producto final bien elaborado, que trabajando en conjunto, se puede llegar a la creación y funcionamiento de una pintura reflectiva con propiedades mejoradas y adecuadas para la región, medio ambiente o condiciones a la que está destinada.

## 4.2. Intemperismo

Desde sus orígenes el hombre ha tenido que lidiar con la naturaleza, ya que de ello ha dependido su supervivencia. El conocimiento, transformación y aprovechamiento del marco natural ha impulsado el conocimiento científico, gracias a esto, el hombre ha sido capaz de adaptar la realidad a sus propias necesidades.

De acuerdo con el tema de investigación, un aspecto muy importante es el término conocido como degradación o envejecimiento, proceso natural de transformación química que degrada los materiales a través del tiempo. Dependiendo de las propiedades del material y lugar donde se encuentre, este se comportará de manera diferente. <sup>[61]</sup>

La degradación de un recubrimiento a causa de los agentes atmosféricos resulta de la combinación de diversos factores. Por lo general, el envejecimiento implica un cambio químico que conlleva cambios físicos. Los principales factores que afectan o aceleran el proceso de degradación son: <sup>[15, 58, 62, 66, 67, 69, 121]</sup>

- Exposición a la luz solar (rayos UV).
- Temperatura.
- Humedad.
- Agentes degradativos.

Dichos factores afectan en mayor o menor medida los recubrimientos, provocando la pérdida o cambio de sus propiedades tales como: espesor, apariencia, morfología, estructuras químicas, propiedades electroquímicas, mecánicas, térmicas, etc., por lo que se debe poner una especial atención al medio donde va a ser expuesto. <sup>[58]</sup>

Un aspecto muy importante en la industria de los recubrimientos, es el periodo de tiempo el cual la película va a retener sus propiedades; las diferentes atmosferas (rural, urbana, industrial, marina, etc.) generan condiciones de distinta agresividad, un método para lograr obtener una idea del tiempo de funcionalidad de la misma, sería sométela a la intemperie y esperar pacientemente para observar su comportamiento, pero esto sin duda, podría tomar meses o incluso años.

El campo de las pinturas y otras áreas en general, se han desarrollado procesos acelerados de degradación para predecir o al menos tener una idea del comportamiento del producto a largo plazo en un lapso de tiempo menor, es decir, someter los materiales a condiciones de exposición parecidas, pero reproduciendo los fenómenos naturales de forma acelerada, estos son las llamadas “cámaras de intemperismo acelerado”.

En lo referente a los equipos de envejecimiento acelerado se encuentran los siguientes: [8, 15, 61]

- Intemperímetros.
- Cámaras UV o envejecimiento solar.
- Cámaras de niebla salina y gases controlados.
- Cámaras de humedad y temperatura controladas.
- Cámaras de polvo.
- Cámaras dinámicas, corrosivas, entre otras.

Según el tipo de método utilizado, tales procesos pueden simular condiciones de radiación solar, temperatura, humedad relativa, condensación, viento, polvo, presión e incluso el nivel de CO<sub>2</sub> muy parecidas a las del medio ambiente. El envejecimiento es un proceso inevitable, sin embargo, en algunas ocasiones se pueden tomar algunas medidas para ampliar el rango de uso. Algunos objetivos del envejecimiento acelerado son: [58, 59, 61]

- Clasificar un material en un tiempo relativamente corto.
- Tener una idea o predecir el comportamiento a largo plazo.
- Acelerar las reacciones químicas involucradas.
- Reproducir ciclos de la naturaleza en un menor tiempo.
- Controlar el grado de degradación, para implementar métodos mediante los cuales la vida útil de un material pueda alargarse.

Una de las principales aplicaciones de las cámaras de intemperismo se encuentra en la industria de las pinturas, recubrimientos poliméricos, especialmente para exteriores, son los materiales más propensos a ser examinados en un laboratorio mediante un proceso acelerado (métodos cíclicos estandarizados independientes o combinados). Una exposición natural en diferentes sitios (atmosferas diferentes) puede dañar los recubrimientos de manera desigual, o exposiciones en los mismos sitios, pero en diferentes periodos, causan un grado distinto de degradación. [62]

Respecto a la nanotecnología, las nanopartículas proveen características muy deseadas que pueden ayudar cuando un recubrimiento es sometido a la intemperie como: mayor durabilidad, incremento en la flexibilidad, mejores propiedades aislantes, retención de color, entre muchas otras ventajas. [62, 65, 66]

Actualmente, es inconcebible pensar en el lanzamiento de un producto al mercado sin antes conocer exhaustivamente sus propiedades y el comportamiento del mismo en las condiciones ambientales a las cuales vaya a desarrollar su actividad, esto con el fin de garantizar su fiabilidad y durabilidad a largo plazo.

### 4.3. Adhesión

El fenómeno de adhesión es un concepto de naturaleza química y física. Las fuerzas de adhesión propiamente dichas se manifiestan generalmente en la interfase sustrato-película, mientras que la adhesión interna (cohesión) tiene lugar en el seno de la propia película. Este tema es esencial en el campo de las pinturas. [26, 28]

Muchos son los factores que inciden en el grado de adhesión, autores consideran que las mayores causas para la pérdida de adhesión son los efectos ambientales (rayos UV, humedad, temperatura, viento y agentes contaminantes), el diseño y los materiales (selección y diseño correcto, juntas, vibraciones, articulaciones y mantenimiento), factores de construcción (buena preparación de la superficie, secuencia de trabajo y los métodos de aplicación) y el sustrato en sí (defectos, propiedades y rugosidad). [74]

El tema de la adhesión es un aspecto de extrema importancia, recubrimientos que carecen de esta propiedad, poseen consecuencias inmediatas en la seguridad y durabilidad del mismo, es decir, un recubrimiento que no posee buena adhesión, prácticamente no sirve o no cumple con ninguna función a la que está destinado así tenga los mejores aditivos o componentes posibles. [67, 74]

Referente al tema de los nanomateriales, estudios han demostrado que la incorporación de nanopartículas en el campo de los recubrimientos puede ayudar a combatir muchas de las desventajas actuales, una de ellas, la adhesión. Por otra parte, se debe de cuidar que la incorporación de nanopartículas no se eleve demasiado, primeramente por el costo, además de que la dispersión y distribución de los mismos no son fáciles de lograr. Para esto se suelen utilizar algunos métodos como: [72, 73]

- Adicionar una pequeña cantidad de nanopartículas sin llegar a modificar extensamente las propiedades como la viscosidad.
- Dispersar correctamente las nanopartículas aplicando fuerzas de corte mecánicas como la irradiación ultrasónica.
- Realizar una pre-dispersión en el solvente (método de slurry).
- Realizar un tratamiento superficial para nanopartículas con compuesto de silano.
- Adicionar de las nanopartículas durante la polimerización en campo.

Varios investigadores han trabajado en una variedad de métodos con el fin de evaluar el grado de adhesión, sin lograr tener un método completamente satisfactorio, existen algunos métodos empíricos muy usados que utilizan equipos poco sofisticados como la prueba de adhesión por cinta, por cuchilla, entre otros, pero que a veces son de gran ayuda.

Quizá la técnica más completa es un ensayo de adhesión por tracción (pull-off test), método que determina la tensión mínima necesaria para desenganchar o desprender el recubrimiento en dirección perpendicular al sustrato (método destructivo). [28, 74]

La preparación de las muestras para en el ensayo de tracción requiere atención especial para la obtención de resultados confiables además de que todas las condiciones deben ser examinadas en cada experimento. Se recomienda seguir algunos consejos como: [71, 74, 75]

- Utilizar un pegamento con resistencia mecánica mayor aquella estudiada entre el sustrato y el recubrimiento.
- Estricta alineación perpendicular entre la fuerza aplicada y el sustrato.
- Sustrato suficientemente duro que aguante las cargas aplicadas.
- El área de la base debe estar perfectamente tapada por el recubrimiento.
- Espesor mínimo adecuado de la muestra para que no existan difusión del pegamento a través de los poros del material.

Para identificar la forma de las fallas por adhesión normalmente existen dos tipos: falla adhesiva, esta es puramente interfacial, lo que significa que el recubrimiento y el sustrato no tuvieron interacción química solo mecánica y falla cohesiva que se origina dentro de la misma película, donde parte de la película o pegamento se desprende del sustrato y parte permanece (ver Figura 4.5). Existen 6 formas diferentes por fallo de adhesión: [75, 77]

1. Falla por adhesión entre pegamento y el equipo de tensión.
2. Falla por cohesión del pegamento.
3. Falla por adhesión entre el pegamento y el recubrimiento.
4. Falla por cohesión del recubrimiento.
5. Falla del sustrato.
6. Falla adhesiva entre el recubrimiento y el sustrato (única falla que indica el verdadero esfuerzo necesario para romper la unión recubrimiento-sustrato).



**Figura 4.5.** Ejemplos falla adhesiva y falla cohesiva. [75]

#### 4.4. Análisis de elemento finito por computadora (ANSYS)

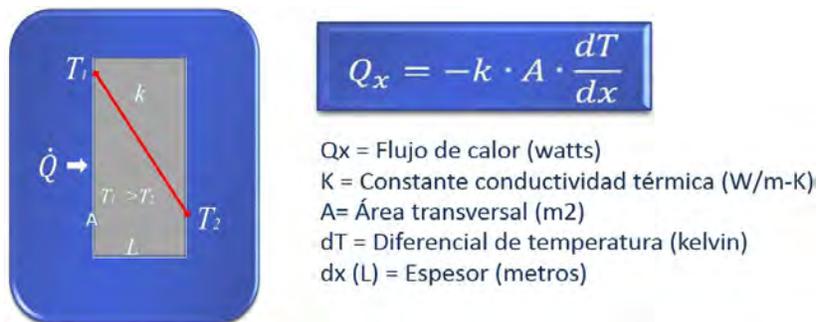
Como se ha visto, la elección de los materiales correctos para cualquier tipo de trabajo puede conducir a un ahorro significativo en cuanto a energía y por ende a la economía. Específicamente, los edificios en general son grandes consumidores de energía. Una notable posibilidad para la disminución de dicho consumo es la correcta selección de un aislante térmico adecuado para el clima y condiciones del lugar. [88]

Una sencilla definición para un aislante térmico sería: “materiales o combinaciones de estos que se utilizan para oponer resistencia al flujo de calor”. La mayor parte de ellos son heterogéneos y porosos los cuales poseen baja conductividad térmica. [78]

La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales como resultado de una diferenciación de temperatura; la termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como “calor”. Existen tres tipos de mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Según el tema de investigación, se enfocará principalmente en conducción. [83]

Los fundamentos de conducción de calor se establecieron hace más de un siglo y se le atribuyen principalmente a Fourier. Este tipo de mecanismo de transferencia de calor establece el intercambio de calor entre dos cuerpos adyacentes por contacto directo sin mezcla o flujo de cualquier material. Este tipo se da en sólidos y fluidos en reposo o con régimen laminar donde la transferencia de calor siempre ocurre de la región de mayor temperatura hacia la de menor (ver Figura 4.6).

La ley básica para la conducción del calor es la ecuación de Joseph Fourier que establece: “La tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección”.



**Figura 4.6.** Representación esquemática de la ley de Fourier de la conducción.

La principal propiedad física que mide la capacidad aislante es la conocida como “constante de conductividad térmica (K)”, característica intrínseca de cada material que cuanto más bajo

sea su valor, mejor capacidad aislante tiene el material. El código técnico de la edificación, considera un aislante térmico aquel cuyo valor de conductividad térmica  $K \leq 0.065 \text{ W/m-K}$  referidos a  $10^\circ\text{C}$ . [80, 82, 88]

Recordando un poco, los aislantes térmicos actúan como barreras que retardan el flujo de calor entre dos medios a diferente temperatura, pero también existen otras diversas razones por las que los aislantes pueden ser deseados: [78, 83]

- Conservación de la energía y seguridad.
- Reducción de la contaminación ambiental.
- Confort (control de la temperatura).
- Prevención de la corrosión y condensación.
- Protección contra el congelamiento.
- Disminución del ruido y vibraciones.

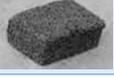
La influencia en la elección de un aislante térmico es decisivo, se dice que con un sistema de aislamiento correcto puede ahorrar hasta un 50% del uso energético en un edificio. Varios estudios independientes demuestran que el promedio de retorno de inversión en aislantes oscila de 1 a 3 años, por lo que es una inversión remunerable a corto plazo. [80, 86]

A continuación se describen las principales propiedades a considerar en la selección de un termoaislante para que pueda cumplir satisfactoriamente las funciones a la que está destinado: [78, 80, 86]

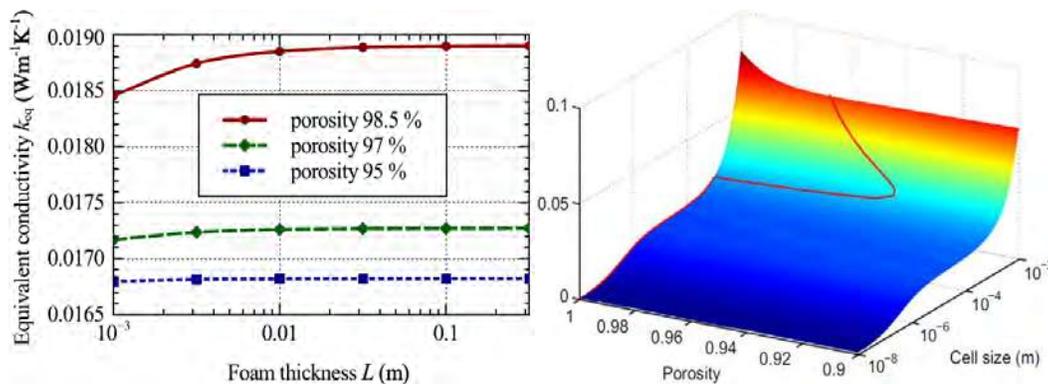
- Límites de temperatura.
- Conductividad térmica.
- Grado de acidez o alcalinidad.
- Apariencia.
- Combustibilidad.
- Resistencia a la compresión.
- Densidad.
- Emisividad.
- Estabilidad dimensional.
- Procreación de hongos y bacterias.
- Agrietamiento.
- Toxicidad.
- Transmisión del sonido.
- Resistencia a la humedad.

Tecnológicamente hablando, actualmente, se están desarrollando nuevos súper aislantes térmicos con mejores soluciones y mayores eficiencias, una prometedora opción, son los recubrimientos con la reducción de celdas hasta un rango nanométrico, otra opción es la adición de nanopartículas como nanoesferas al vacío, nanotubos, nanofibras, nanoespumas y los novedosos “aerogeles” con bajas conductividades térmicas entre  $0.012 - 0.014 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  a temperatura y presión ambiente, que proveen al material propiedades excepcionales que ya están siendo usadas en la industria aeroespacial, eléctrica y automotriz, aunque su costo de producción es todavía elevado. [88, 90, 94, 95]

**Tabla 4.2.** Propiedades de los principales aislantes utilizados en la industria. [82]

TIPO	Representación gráfica	Conductividad térmica (K)	Origen	Coste energético de producción	Biodegradable
Lana de roca		0.030-0.050 W/m°C	Mineral	15-25 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Lana de vidrio		0.030-0.050 W/m°C	Mineral	15-50 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Poliestireno expandido (EPS)		0.029-0.053 W/m°C	Sintético	75-125 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Poliestireno extruido (XPS)		0.024-0.040 W/m°C	Sintético	75-125 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Poliuretano (PUR)		0.019-0.040 W/m°C	Sintético	70-125 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Perlita expandida (EPB)		0.040-0.060 W/m°C	Mineral	5-20 MJ/Kg <sup>2</sup>	No
Vidrio celular (CG)		0.035-0.055 W/m°C	Mineral	10-75 MJ/Kg <sup>2</sup>	Si
Algodón (CO)		0.029-0.040 W/m°C	Vegetal	40-50 MJ/Kg <sup>2</sup>	Si
Celulosa (CL)		0.034-0.069 W/m°C	Vegetal	1-25 MJ/Kg <sup>2</sup>	Si

Existen algunos parámetros que influyen en la eficiencia de un aislante térmico, estudios demuestran que incrementando el número de espacios libres, disminuyendo la fracción volumétrica y buena dispersión de los poros existentes, resulta en una menor transferencia de calor (Figura 4.7). [90, 91, 92]


**Figura 4.7.** Dependencia de la conductividad térmica (K) en relación algunos parámetros. [90]

Se debe tener en cuenta que un aislamiento térmico no elimina la transferencia de calor, simplemente la reduce, es decir, no existe un aislante térmico perfecto. Entre más espesor, normalmente menor será la transferencia de calor, pero también existen algunos límites de grosor ya sea porque el recubrimiento incrementa su precio, por cuestiones de espacio, por límites de eficiencia y por cuestiones arquitectónicas. [88]

Las propuestas arquitectónicas en México generalmente no consideran el diseño y materiales adecuados al contexto climático, es aquí donde entra en acción la llamada “arquitectura bioclimática” que tiene como objetivo principal hacer un uso eficiente de la energía y de los recursos, garantizando condiciones de confort y sostenibilidad del medio ambiente, esto a través de tres medidas fundamentales: 1. Desarrollando diseños eficientes 2. Fomentando el uso de las energías renovables 3. Haciendo uso de la tecnología y materiales correctos que se tengan al alcance. [80, 85]

La elección del tipo, espesor y cálculos de un aislante térmico puede resultar tardado, sin embargo, en México se puede hacer una selección en minutos mediante las tablas contenidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, eficiencia energética en aislamientos térmicos, la cual utiliza parámetros de referencia. [78]

El rápido avance de la ciencia y la tecnología ha permitido la síntesis de nuevos materiales con propiedades termofísicas que permiten el desarrollo de nuevas pinturas con propiedades de aislantes térmicos. Ahora bien, todos estos nuevos productos deben ser evaluados de alguna manera. Una herramienta muy utilizada actualmente es el “Elemento Finito Por Computadora” o por sus siglas en inglés como “Finite Element Method (FEM)”, dicha herramienta es de bastante ayuda ya que simula una gran variedad de fenómenos que ocurren en la vida diaria (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, ópticos, térmicos, etc.). [93, 96]

El análisis por elemento finito es una técnica computacional numérica conocida desde hace muchos años atrás, las primeras apariciones del elemento finito fueron publicados en 1956 por Turner, Clough, Martin and Topp, pero fue hasta 1960 cuando se utilizó por primera vez el término “elemento finito”, de ahí en adelante el desarrollo es casi paralelo con el avance de las computadoras. [96]

Hoy en día, la verdadera utilidad del elemento finito radica en su habilidad para resolver problemas particulares que ninguna fórmula estándar puede hacerlo, por ejemplo, si la geometría de alguna estructura a analizar es muy compleja o no es común, no existe fórmula estándar para resolverlo, es aquí donde entra en acción el FEM, ya que particiona o discretiza cualquier geometría a estudiar en un número finito de elementos tan pequeños como se desee conectados unos con otros a través de nodos que en conjunto proporcionan una solución bastante aproximada a la realidad.

Los resultados de la técnica por elemento finito depende de algunos factores tales como: <sup>[96]</sup>

- Modelo del elemento finito (térmico, mecánico, óptico, etc.).
- Número de nodos.
- Geometría de los elementos analizados (triángulos, cuadriláteros).
- Cargas y soportes.
- Propiedades del material.

Una vez definas todas las variables, el fenómeno está definido y solo queda el proceso computacional. El programa trabaja con un grupo de ecuaciones resolviéndose simultáneamente, las cuales están en balance o dependen de cada nodo en el sistema, es decir, actúa como una cadena que se encuentra en equilibrio.

Algunas de las ventajas que ofrece el elemento finito por computadora son: <sup>[96]</sup>

- Permite analizar formas irregulares.
- Permite analizar formas en combinación de diferentes materiales.
- Permite colocar cualquier tipo de carga o soporte en cualquier lugar analizar.
- Provee resultados de partes enteras o lugares específicos deseados.
- Un solo modelo puede ser evaluado de diferentes maneras.
- No se necesita la construcción física del prototipo hasta haber terminado el análisis.

## CAPÍTULO V

### 5. EXPERIMENTACIÓN

#### 5.1. Introducción

Recordando un poco, el presente trabajo consiste en llegar a conocer algunas propiedades específicas de un recubrimiento nanoaislante térmico base agua.

Una vez acordadas las caracterizaciones a realizar y definido el protocolo de investigación, se procedió a realizar la parte experimental. Debido al tipo de recubrimiento las pruebas acordadas fueron: intemperismo, reflectancia y adhesión y una simulación por FEM.

Dicho recubrimiento es llamado por los químicos sintetizadores como “recubrimiento nano aislante térmico base agua NTC-16710-9000”. El actual proyecto consiste solamente en caracterizar dicho recubrimiento, no en sintetizar o llegar interferir con el tipo, cantidad o porcentaje de componentes de los que se encuentra hecho, ya que puede existir confusión.

De acuerdo a las características, componentes, tipo, uso y finalidad del recubrimiento a estudiar, se definieron las caracterizaciones consideradas las más apropiadas e importantes a realizar, además, se estudiaron formas, equipos y procedimientos a desarrollar, utilizando algunas normas ASTM para crear un estudio confiable y estandarizado.

Los estudios se llevaron a cabo en los laboratorios del Centro De Innovación Aplicada En Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.) acreditada ante la Entidad Mexicana De Acreditación (EMA) cuyo organismo forma parte de la red de centros públicos del consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) que contribuye al desarrollo tecnológico, económico y social del país, tal empresa se encuentra ubicada en la ciudad de León, Guanajuato, México.

#### 5.2. Preparación de las probetas

Como requisito para la realización de los estudios, se solicitaron probetas con dimensiones y material específico pintadas con el recubrimiento a estudiar. Para la prueba de adhesión se solicitaron probetas de Aluminio con dimensiones de 2.5 cm de ancho por 15 cm de largo calibre 18 (1.245 mm de espesor). Para las pruebas de intemperismo y reflectancia, se

utilizaron las mismas probetas con dimensiones de 5 cm de ancho por 10 cm de largo del mismo calibre; tales medidas son de acuerdo a los requisitos de los equipos utilizados.

El material elegido fue un Aluminio 1100 debido a su elevada pureza y excelentes propiedades contra la corrosión (ver Tabla 5.1), además, por recomendaciones de la empresa CIATEC como sugerencia para trabajar con este material.

**Tabla 5.1.** Composición química y algunos usos del Aluminio 1100. <sup>[101]</sup>

Composición química de la aleación de Aluminio 1100 (% de Peso)											
Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Otros	Aluminio (min.)
1100	0.95 Si + Fe		0.05-0.2	0.05	0	0	0	0.1	0	0.15	99.0
Aleación estándar, buen acabado superficial, moderada resistencia mecánica, dúctil, muy buena resistencia a la corrosión, excelentes características para soldadura fuerte y al arco.											

Utilizando una guillotina marca PAGSA, se seccionaron tiras con cortes cada 2.5 cm y 5 cm de ancho respectivamente, posteriormente se procedió a cortar las tiras de Aluminio con tijeras industriales cada 15 cm y 10 cm de largo para obtener las probetas finales con las dimensiones especificadas (ver Figura 5.1).



**Figura 5.1.** Proceso de cortado y obtención de probetas.

Una vez cortadas las probetas, se realizó el siguiente paso que era la preparación de la superficie. Para la limpieza superficial, primeramente se realizó una limpieza con agua y jabón utilizando un trapo suave, seguido de un baño ultrasónico en una tina marca BRANSON modelo 1510 por 15 minutos con agua de la llave (agua dura) para retirar todo tipo de manchas, grasas y óxidos de mayor tamaño, posteriormente se realizó un segundo

baño ultrasónico pero esta vez con agua destilada (agua blanda) y con el mismo tiempo de trabajo para lograr una limpieza más profunda.

Por último, una vez terminado el segundo baño ultrasónico se retiraron las probetas para volver a limpiar la superficie con agua destilada nueva, seguido de un secado forzado inmediato para evitar todo tipo de manchas. Una vez limpias las probetas se guardaron en una placa previamente cortada de polietileno de alta densidad para ser transportadas y evitar todo tipo de contaminación en el ambiente (ver Figura 5.2).



**Figura 5.2.** Preparación de la superficie y guardado de probetas.

Una vez preparada la superficie, se procedió con la aplicación de la pintura. Se pintaron probetas con 3 diferentes espesores con tiempos de 20 min entre cada mano, las primeras probetas se pintaron a 2 manos (normalmente realizado en la práctica) obteniendo un espesor de película entre 6-7 mils (152.4-177.8 micras), posteriormente se pintaron otras probetas a 3 manos, obteniendo un espesor de película entre 8-9 mils (203.2-228.6 micras) y finalmente, las ultimas probetas a 4 manos, obtenido espesores entre 11-12 mils (279.4-304.8 micras), siendo exactamente el mismo procedimiento para todas las probetas.

Los diferentes espesores se realizaron con el fin de analizar la variación de resultados de acuerdo al espesor o número de capas de película. La medición del espesor se llevó a cabo utilizando un micrómetro (Figura 5.3) de acuerdo a la norma **ASTM D 1005-95** (Standard Test Method for Measurement of Dry-Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers).

Una vez pintadas todas las probetas, se volvieron al guardar en la lámina de polietileno de alta densidad para dejarlas secar por 7 días. Se trabajó con 10 probetas para cada espesor o 30 en total, es decir, 10 probetas para 2 capas, 10 para 3 capas y 10 para 4 capas ya que se consideró un número adecuado para obtener resultados promedio confiables.



Figura 5.3. Pintado, medición del espesor, guardado y sellado de las probetas pintadas.

### 5.3. Reflectancia

Las probetas se sometieron a los procesos de medición de reflectancia de acuerdo a la norma **ASTM E 903-96** (Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres) utilizando un espectrómetro de esferas integradas (visor 10°) UltraScan PRO marca HunterLab perfectamente calibrado con muestra referencia de sulfato de Bario ( $\text{BaSO}_4$ ) (ver Figura 5.4).



Figura 5.4. Espectrofotómetro de esferas integradas, calibración y medición de muestras.

Antes de ser estudiadas, las muestras permanecieron en una cámara de acondicionamiento por 24 h a una temperatura de 23°C y 50% de humedad relativa, esto con el fin de estabilizar las muestras para sus posteriores estudios. Las muestras fueron medidas de manera horizontal y vertical, esto con el fin de evaluar homogéneamente las propiedades de reflectancia.

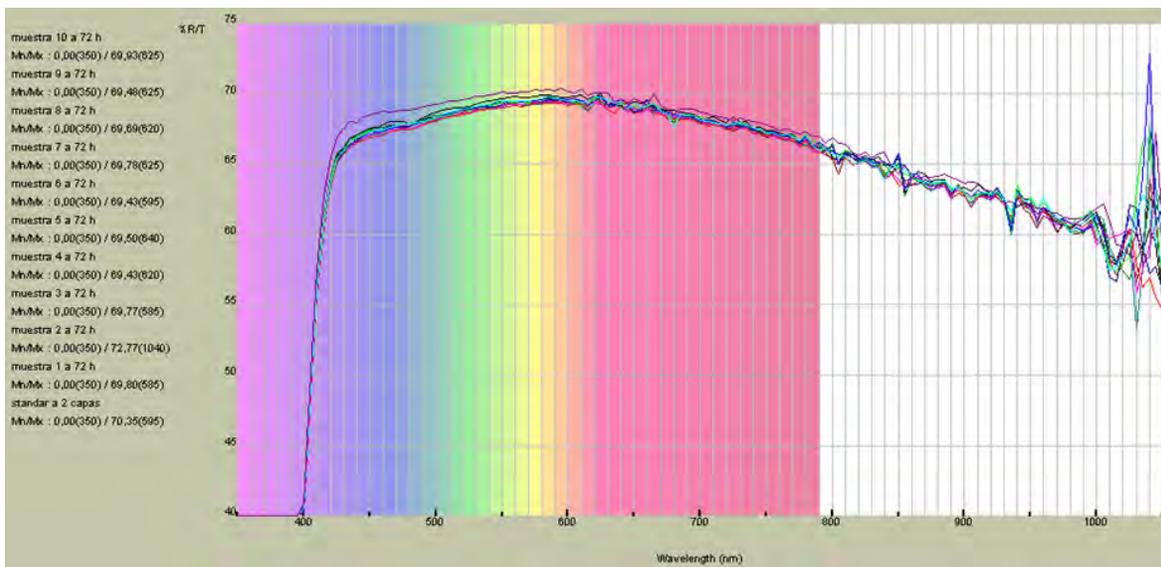
Resulta importante mencionar que las mediciones de reflectancia se realizaron antes, durante y después de la prueba de intemperismo, es decir, antes de ser expuestas a la cámara se tomaron las mediciones correspondientes de las muestras virgen, dejando una probeta estándar o Master a 2 capas, 3 capas y 4 capas como guía de comparación, tales muestras no serían afectadas por los estudios y servirían como parámetro para en un futuro comparar todas aquellas muestras expuestas con las muestras estándar para poder observar y evaluar todo tipo de cambios.

Posteriormente, las evaluaciones de llevaron a cabo tomando mediciones cada 24, 48 y 72 horas (cada que se abría la cámara), esto con el fin de ir observando el comportamiento de las muestras, además de ir tomando las mediciones de reflectancia correspondientes con el fin de ir evaluando que tanto cambiaba el índice de reflectancia.

Por cuestiones de interés, solo se presentan los resultados obtenidos en las probetas estándar que funcionan como patrones y los resultados a 72 horas de exposición de las muestras a 2 capas, 3 capas y 4 capas (Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4), que en teoría son los resultados más negativos, es decir, después de 72 horas todas las muestras expuestas deberían de presentar defectos más evidentes y los mayores cambios en el índice de reflectancia, que a final de cuentas son los valores más importantes e interesantes en el presente estudio.

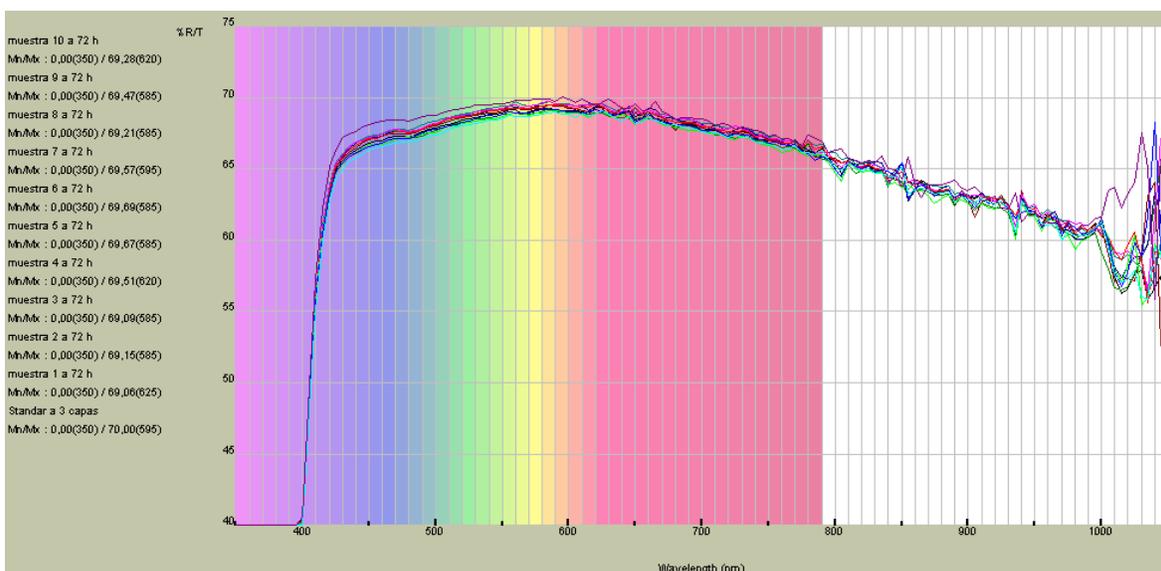
**Tabla 5.2.** Datos y grafica de las muestras con 2 capas a 72 horas.

2 CAPAS	Cambios	L*	a*	b*	$\lambda$ dominante	dE*	$\Delta Y$ amarillez	Escala grises	Pasa/ Falla
<b>Estándar</b>		86.88	-0.48	1.73	566.56	-	-	-	
+Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
- Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
Promedio		86.48	-0.52	2.16	567.18	0.59	0.87	4.5	
Máximo		86.88	-0.48	2.24	567.5	0.71	1.03	4.5	
Mínimo		86.37	-0.56	1.73	566.56	-	-	-	
Desviación		0.20	0.04	0.43	0.62	-	-	-	
Muestra 1 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.55	-0.52	2.21	567.29	0.59	0.96	4.5	Pasa
Muestra 2 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.5	-0.52	2.24	567.37	0.64	1.03	4.5	Falla
Muestra 3 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.51	-0.48	2.13	567.5	0.55	0.85	4.5	Pasa
Muestra 4 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.37	-0.52	2.22	567.31	0.71	0.99	4.5	Falla
Muestra 5 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.41	-0.49	2.16	567.41	0.63	0.88	4.5	Pasa
Muestra 6 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.4	-0.53	2.21	567.21	0.69	0.96	4.5	Pasa
Muestra 8 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.53	-0.56	2.16	566.92	0.56	0.84	4.5	Pasa
muestra 7 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.52	-0.54	2.04	566.79	0.48	0.6	4.5	Pasa
Muestra 9 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.44	-0.53	2.08	566.99	0.57	0.71	4.5	Pasa
Muestra 10 a 72h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.65	-0.55	2.18	567.05	0.52	0.89	4.5	Pasa



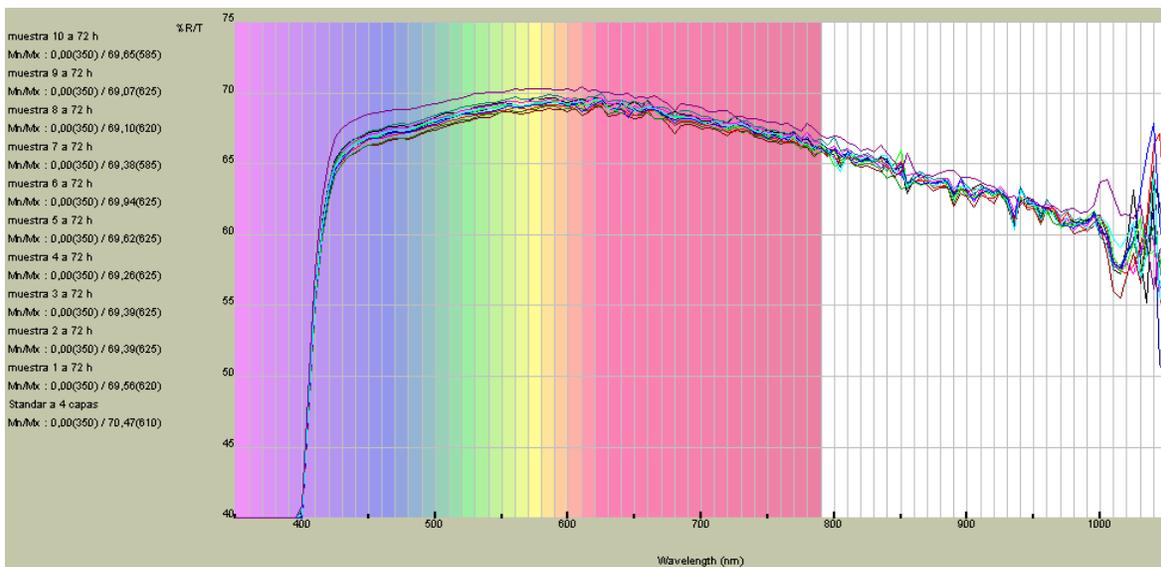
**Tabla 5.3.** Datos y grafica de las muestras con 3 capas a 72 horas.

3 CAPAS	Cambios	L*	a*	b*	$\lambda$ dominante	dE*	$\Delta Y$ amarillez	Escala grises	Pasa/ Falla
<b>Estándar</b>		86.70	-0.47	1.75	566.76	-	-	-	
+Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
- Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
Promedio		86.34	-0.51	2.21	567.36	0.59	0.93	4.5	
Máximo		86.70	-0.47	2.35	567.83	0.83	1.25	4.5	
Mínimo		86.13	-0.55	1.75	566.76	-	-	-	
Desviación		0.36	0.04	0.46	0.60	-	-	-	
Muestra 1 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.13	-0.48	2.35	567.83	0.83	1.25	4.5	Falla
Muestra 2 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.26	-0.51	2.28	567.51	0.69	1.07	4.5	Falla
Muestra 3 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.2	-0.5	2.20	567.45	0.67	0.91	4.5	Falla
Muestra 4 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.43	-0.52	2.20	567.31	0.53	0.89	4.5	Pasa
Muestra 5 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.49	-0.49	2.16	567.45	0.47	0.84	4.5	Pasa
Muestra 6 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.53	-0.54	2.16	567.04	0.45	0.79	4.5	Pasa
Muestra 8 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.45	-0.50	2.15	567.33	0.48	0.81	4.5	Pasa
Muestra 7 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.23	-0.55	2.26	567.19	0.7	0.99	4.5	Falla
Muestra 9 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.39	-0.52	2.17	567.22	0.53	0.83	4.5	Pasa
Muestra 10 a 72h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.31	-0.52	2.22	567.3	0.61	0.93	4.5	Pasa



**Tabla 5.4.** Datos y grafica de las muestras con 4 capas a 72 horas.

4 CAPAS	Cambios	L*	a*	b*	$\lambda$ dominante	dE*	$\Delta Y$ amarillez	Escala grises	Pasa/ Falla
<b>Estándar</b>		86.93	-0.49	1.80	566.69	-	-	-	
+Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
- Tolerancia		0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	
Promedio		86.34	-0.51	2.29	567.52	0.77	1.02	4.5	
Máximo		86.93	-0.48	2.41	567.74	0.99	1.27	4.5	
Mínimo		86.1	-0.54	1.80	566.69	-	-	-	
Desviación		0.59	0.02	0.49	0.83	-	-	-	
Muestra 1 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.38	-0.51	2.30	567.57	0.74	1.03	4.5	Falla
Muestra 2 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.30	-0.53	2.30	567.42	0.81	1.03	4.5	Falla
Muestra 3 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.37	-0.53	2.27	567.34	0.73	0.95	4.5	Falla
Muestra 4 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.24	-0.48	2.27	567.74	0.84	1.01	4.5	Falla
Muestra 5 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.47	-0.51	2.28	567.51	0.67	0.99	4.5	Pasa
Muestra 6 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.58	-0.54	2.29	567.28	0.61	0.98	4.5	Pasa
Muestra 8 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.36	-0.5	2.29	567.57	0.75	1.01	4.5	Falla
muestra 7 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.17	-0.51	2.41	567.74	0.98	1.27	4.5	Falla
Muestra 9 a 72 h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.1	-0.51	2.34	567.59	0.99	1.13	4.5	Falla
Muestra 10 a 72h	Mas cromático, oscuro y amarillo	86.5	-0.5	2.21	567.44	0.6	0.85	4.5	Pasa



### 5.3.1. Discusión de resultados

**Valores  $L^*$   $a^*$   $b^*$ .** Para entender un poco más estas variables se cuenta con la ayuda de la esfera de colores en el espacio (Figura XX). De acuerdo a los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  ya sean positivos o negativos indican en que parte del espectro se encuentra cada muestra estudiada. El eje  $L^*$  representa la luz y oscuridad trabajando en un rango de 0 (negro) a 100 (blanco). El eje  $a^*$  trabaja en un rango de -60 (verde) a +60 (rojo) y por último, el eje  $b^*$  trabaja en un rango de -60 (azul) a +60 (amarillo), donde la combinación de los 3 ejes nos da un punto exacto en el espacio del color. [127, 150]

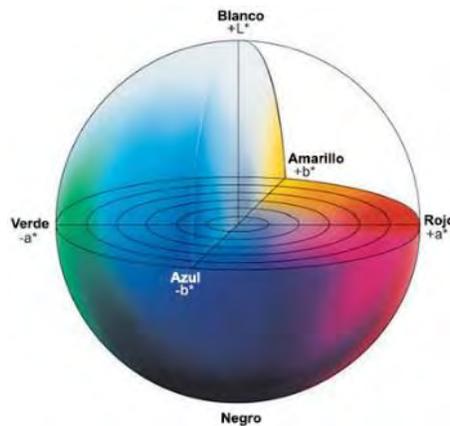


Figura 5.5. Esfera para colorimetría en el espacio. [104]

**Longitud de onda dominante ( $\lambda$ ).** Este valor representa el punto del espectro estudiado al que se presentó la mayor reflectancia.

**Diferencial de color ( $dE^*$ ).** Mide la variación de los tres factores combinados  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , con respecto a la muestra Master o patrón. Mientras más bajo sea el  $dE^*$ , significa que el material no está cambiando demasiado de color.

**Pasa/falla.** Indica si la muestra sale de los límites de tolerancia establecidos previamente, esto no quiere decir que la muestra se encuentre dañada o los resultados sean incorrectos.

#### MUESTRA ESTÁNDAR 2 CAPAS A 0 HORAS.

Concepto	Valor	Característica
$L^*$	+ 86.88	Positivo elevado
$a^*$	-0.48	Negativo muy bajo
$b^*$	+ 1.73	Positivo bajo
$\lambda$	566.56 nm	Dominante
%R	70.35 %	Medio

Resultados obtenidos demuestran que la muestra estándar 2 capas a 0 horas (sin ser expuesta), presenta valores  $L^*$  positivos elevados ya que es una pintura blanca y por lo tanto tiende ir hacia la zona de blancos, también indica valores de  $a^*$  negativos muy bajos, esto quiere decir que tiende a ir muy poco hacia la zona de verdes, pero como es un valor demasiado bajo lo hace imperceptible y por último tenemos valores de  $b^*$  positivos bajos que indican que la muestra tiende ir ligeramente hacia la zona de amarillos pero que también debido al bajo valor no es muy notable. El valor de  $\lambda$  representa la longitud de onda dominante. Respecto al valor de reflectancia ( $\%R$ ) = 70.35 % se evalúa como un valor medio.

### MUESTRA ESTÁNDAR 3 CAPAS A 0 HORAS.

Concepto	Valor	Característica
$L^*$	+ 86.70	Positivo elevado
$a^*$	-0.47	Negativo muy bajo
$b^*$	+ 1.75	Positivo bajo
$\lambda$	566.76 nm	Dominante
$\%R$	70.00 %	Medio

Resultados obtenidos demuestran que la muestra estándar 3 capas a 0 horas (sin ser expuesta), presenta valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\lambda$  muy similares a los resultados en comparación a la muestra estándar a 2 capas. La reflectancia ( $\%R$ ) = 70% bajo muy poco.

### MUESTRA ESTÁNDAR 4 CAPAS A 0 HORAS.

Concepto	Valor	Característica
$L^*$	+ 86.93	Positivo elevado
$a^*$	-0.49	Negativo muy bajo
$b^*$	+ 1.80	Positivo bajo
$\lambda$	566.69 nm	Dominante
$\%R$	70.47 %	Medio

Resultados obtenidos demuestran que la muestra estándar 4 capas a 0 horas (sin ser expuesta), presenta valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\lambda$  muy similares, es decir, de igual manera los resultados varían muy poco respecto a las muestras con 2 capas y 3 capas respectivamente. La reflectancia ( $\%R$ ) = 70.47% tendió a aumentar un poco.

**MUESTRAS EXPUESTAS 2 CAPAS A 72 HORAS.**

Concepto	Valor	Características
L*	+ 86.48	Positivo elevado
a*	- 0.52	Negativo muy bajo
b*	+ 2.16	Positivo bajo
$\lambda$	567.18 nm	Dominante
%R	69.95 %	Medio
dE*	0.59	Bajo

Comparando los resultados obtenidos entre la muestra 2 capas estándar y las expuestas a 72 horas, se puede observar que las muestras expuestas poseen valores promedio L\*, a\*, b\* y  $\lambda$  que indican que en general la muestras se volvieron un poco más oscuras, amarillas cromáticas (saturadas) pero en valores muy pequeños en comparación a la estándar, el bajo diferencial de color dE\* indica que se tuvo un muy ligero cambio de tono y respecto a la reflectancia, después de 72 horas de exposición disminuyo un poco de valores promedio de %R = 70.35 %  $\rightarrow$  %R = 69.95 % (disminuyó 0.4%).

**MUESTRAS EXPUESTAS 3 CAPAS A 72 HORAS.**

Concepto	Valor	Características
L*	+ 86.34	Positivo elevado
a*	- 0.51	Negativo muy bajo
b*	+ 2.21	Positivo bajo
$\lambda$	567.36 nm	Dominante
%R	69.37 %	Medio
dE*	0.59	Bajo

Comparando los resultados obtenidos entre la muestra 3 capas estándar y las expuestas a 72 horas, se puede observar que las muestras expuestas poseen valores promedio L\*, a\*, b\* y  $\lambda$  que indican que la muestras en general se volvieron un poco más oscuras, amarillas y cromáticas (saturadas) pero de igual manera en valores muy pequeños en comparación a la estándar, el diferencial de color dE\* indica que se tuvo un ligero cambio de color pero nuevamente muy bajo y respecto a la reflectancia después de 72 horas de exposición disminuyo un poco de valores %R = 70.00 %  $\rightarrow$  %R = 69.37 % (disminuyó 0.63%).

**MUESTRAS EXPUESTAS 4 CAPAS A 72 HORAS.**

Concepto	Valor	Características
L*	+ 86.34	Positivo elevado
a*	- 0.51	Negativo muy bajo
b*	+ 2.29	Positivo bajo
$\lambda$	567.52 nm	Dominante
%R	69.43 %	Medio
dE*	0.77	Bajo

Comparando los resultados obtenidos entre la muestra 4 capas estándar y las expuestas a 72 horas, se puede observar que las muestras poseen valores promedio L\*, a\*, b\* y  $\lambda$  que indican nuevamente que en general la muestras se volvieron más oscuras, amarillas y cromáticas (saturadas) pero de igual manera con valores muy bajos, el diferencial de color dE\* indica que se tuvo un muy ligero aumento en el cambio de color pero que sigue siendo bajo y respecto a la reflectancia, después de 72 horas de exposición disminuyó un poco a valores promedio de %R = 70.47%  $\rightarrow$  %R = 69.43% (disminuyó 1.04%).).

El valor dE\* = 1 es la diferencia de color más baja perceptible por el ojo humano, es decir, valores por debajo de este límite no son distinguibles para la vista común, por eso no se alcanza observa ningún cambio de color en las presentes muestras debido a los bajos valores de este concepto.

En comparación con algunos recubrimientos, algunos autores consideran dE\* = 3 como un límite aceptable. Las muestras estudiadas presentan todos los valores por debajo de este límite, es decir, la presente pintura polimérica muestra un excelente comportamiento en este parámetro (no cambia prácticamente nada de color). [150]

El presente estudio reporta únicamente los valores de reflectancia difusa que es la más importante y que representa casi con el total de la luz reflectada ya que la luz se propaga en toda la gama de ángulos (refleja en todas direcciones), mientras que la reflectancia especular solo refleja en un ángulo de 90° respecto al rayo incidente. [155]

En todas las muestras se puede observar que el índice de reflectancia disminuye abruptamente a 400 nm (zona UV) y a 700 nm (zona infrarroja) aproximadamente, esto puede ser debido al aumento en la absorción de los pigmentos a estas longitudes de onda, es decir en la zona de luz visible la pintura presentan una mejor reflectancia, pero a longitudes de onda menores y mayores que son la zona UV e infrarrojo, la reflectancia disminuye notablemente. [131, 147]

Es conocido que a mayores índices de reflectancia, mayores índices de radiación reflectada, en consecuencia menores temperaturas superficiales, ahora, cual es la relación entre el índice de reflectancia (%R) y la diferencia de temperatura disminuida ( $\Delta T$ ), la respuesta es que no

existe una correlación exacta, todo depende del tipo de radiación (recordando que varía en función de la hora día, época del año, clima, nubes, latitud, longitud, etc.), es decir, no por tener un  $\%R = 90\%$  se tendrá siempre un  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ , lo que se quiere decir es que la temperatura depende de muchos otros factores no solo de la reflectancia. <sup>[150]</sup>

Las reflectancias de los recubrimientos presentan variaciones que van desde normalmente 30% al 90% o más en función de las propiedades y de la hora del día. <sup>[131, 147, 155]</sup>

Recordando un poco, la prueba de reflectancia se realizó a la par con la de intemperismo, resultados y estudios obtenidos demuestran que el índice de reflectancia disminuye después de ser sometido a procesos degradativos, esto a causa de los defectos superficiales que aparecen en las muestras y cambio de color, sin embargo, los resultados de reflectancia no se ven casi en nada afectados, manteniendo valores casi constantes. <sup>[155]</sup>

Otro aspecto que se puede observar es que las reflectancias varían muy poco de acuerdo al número de capas, es decir, con 2 capas, 3 capas y 4 capas se obtuvieron resultados muy similares (aproximadamente 1% - 2% de diferencia). Los valores más altos se obtuvieron a 2 capas que es el número que más se utiliza en la práctica, pero se puede decir que el número de capas no tienen mucha influencia en el índice de reflectancia.

Los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , la longitud de onda ( $\lambda$ ) y el diferencial de color  $dE^*$  se mantienen casi constantes, por lo que se puede concluir que la cantidad de capas o espesor, tampoco influyen ampliamente en los valores de reflectancia y en la colorimetría de las muestras.

El índice de reflectancia se puede reducir con el polvo hasta un 20% en dos semanas y hasta un 40% si es que es lavada. Cabe mencionar que los resultados aquí presentados son para una pintura polimérica nueva, limpia y recién aplicada en los cuales no se han manifestado aun fenómenos suciedad o lavado. <sup>[47]</sup>

### 5.3.2. Conclusiones

Según estudios realizados existen materiales con reflectancias por encima del 90%, en comparación con los resultados obtenidos en el actual estudio, se tienen valores de reflectancia de aproximadamente 70%, no es un valor demasiado bajo ya que si posee reflectividad, pero para ser una pintura reflectante: el recubrimiento nano aislante térmico base agua NTC-16710-9000 se puede mejorar.

Una forma de mejorar puede ser jugando con los componentes de la pintura (pigmentos blancos) o tratando de elevar el valor de  $L^*$  lo más cerca posible a 100 ya que es una variable directamente proporcional a la reflectancia.

El índice de reflectancia de un recubrimiento puede ser aumentado si se aumenta el volumen de concentración del pigmento (Pigment Volume Concentration “PVC”), siempre y cuando sea el pigmento correcto hasta límites permisibles técnico-económicos, otras opción pueden ser utilizando pinturas en polvo con partículas metálicas, partículas huecas (látex, sílica) o modificar químicamente la superficie pigmentada. [131]

Muchas veces suelen utilizarse colorantes para modificar el color de algún material, sin embargo, en las pinturas esto no es muy recomendable, un colorante no provee las propiedades que proporciona un verdadero pigmento, como se mencionó anteriormente lo recomendable es agregar pigmentos colorados sin que varíen en nada o muy poco las propiedades finales de la pintura.

El color de la pintura depende específicamente de la radiación en la longitud de onda de los rayos visibles (400-700 nm), sin embargo, la principal causa de calentamiento en una superficie son los rayos infrarrojo que representan el 52% de la radiación solar total, es decir, la mejor manera de disminuir la temperatura en la superficie, es aumentar el índice de reflectancia de los componentes (pigmentos) en la zona cercana al infrarrojo. [151]

Regularmente las pinturas reflectivas son color blanco, sin embargo, por razones estéticas a veces se prefieren otros colores, esto conduce al desarrollo de pinturas reflectantes para otros colores, es decir, pinturas color amarillo, gris, verde, marrón, etc., es decir, si se pueden obtener pintura reflectantes de diferentes colores inclusive oscuros, solo hay que jugar con los tipos de pigmentos colorados que tiendan a reflejar los rayos solares en algunas zonas del espectro electromagnético. [149]

Otro aspecto que hay tener muy en cuenta es incluso la forma la secado, estudios demuestran que un secado con humedades relativas altas (80% o más) o muy bajas (20% o menos) tienden a disminuir la reflectancia, lo recomendable es trabajar con RH medianas (50%). Otra forma de incrementar el %R puede ser aumentando el grado de cristalinidad de los componentes. La cristalización de un material polimérico es un proceso de contracción volumétrica el cual incrementa el índice de reflexión en comparación con uno amorfo. [60, 153]

Algunas otras maneras de aumentar la reflectancia puede ser cambiando la forma de los cristales, el espesor de la película, la morfología de la superficie (porosidad, rugosidad), así como modificar el tamaño de grano (disminuirlo), incluso el pH. [154]

En conclusión, el Incremento del índice de reflectancia, reduce la radiación absorbida, lo que disminuye la temperatura de la superficie, en consecuencia, baja la transferencia de calor por conducción hacia el interior del edificio, mejorando las condiciones de confort térmico, esto reduce el uso de aire acondicionado, ahorrando en gastos de consumo de energía eléctrica y finalmente disminuyendo las emisiones contaminantes, salvando el planeta. [44, 128]

## 5.4. Intemperismo

Las probetas se sometieron a los procesos especificados en una cámara de intemperismo acelerado (ver Figura 5.6) de acuerdo a la norma **ASTM G 154-06** (Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials).



**Figura 5.6.** Cámara de intemperismo acelerado.

De igual manera, se evaluaron muestras a 2, 3 y 4 capas para observar los diferentes cambios y resultados que puedan existir de acuerdo al espesor de las muestras.

Las muestras fueron acomodadas y expuestas durante 72 horas en la cámara de exposición (ver Figura 5.7), tiempo que se consideró suficiente para obtener valores representativos que ayuden a conocer el posible futuro comportamiento de la pintura en cuestión cuando sea sometida a la intemperie natural; recordando que la cámara de intemperismo fue abierta a 24, 48 y 72 horas respectivamente para las pruebas de reflectancia



**Figura 5.7.** Posicionamiento y colocación de las muestras en la cámara de intemperismo.

Una vez terminada la exposición de acuerdo a los parámetros definidos en la Tabla 5.5, las probetas se sacaron de la cámara para ser examinadas. Se presentan los resultados obtenidos a 72 horas de exposición de las muestras a 2 capas, 3 capas y 4 capas (Figura 5.8, Figura 5.9 y Figura 5.10), que como se mencionó anteriormente, se consideran los valores más representativos.

**Tabla 5.5.** Parámetros definidos de la cámara de intemperismo.

<b>Norma</b>	<b>ASTM G 154-06.</b> Método de prueba estándar para la operación de equipos de luz fluorescente para exposición en la luz UV de materiales no metálicos.
Lámparas	UVA 340.
Longitud de onda	340 nm.
temperatura de ensayo	65°C.
Irradiancia	0.78 w/m <sup>2</sup> .
Ciclos repetidos	2 horas de condensación por cada 10 horas de luz.
Tiempo de exposición total	72 horas.
Tipo de agua	Agua desionizada.
Descripción de la prueba	La prueba se realizó colocando los sustratos de aluminio recubiertos en una cámara de intemperismo acelerado de luz UV por un periodo de 72 horas. Después de la exposición a 24, 48 y 72 horas se realizaron evaluaciones colorimétricas correspondientes.
Luz de evaluación	D65 (luz de medio día).
Grado de cambio de color	Escala gris para cambio de color.
Descriptor delta	Con la finalidad de medir los cambios que sufrió la muestra con respecto a un patrón (más oscuro, mayor saturación de color, etc.) y tratar de caracterizar su comportamiento en la vida cotidiana.



**Figura 5.8.** Comparación muestra estándar 2 capas (M2C) a 72 horas.

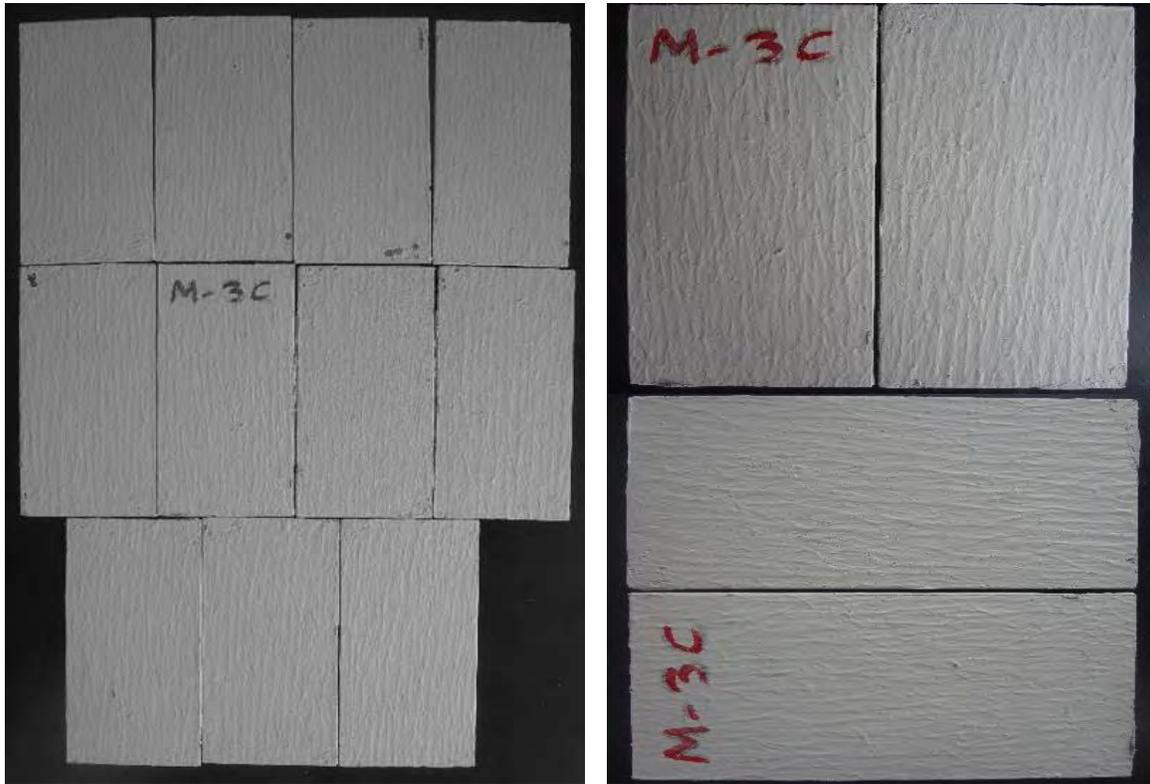


Figura 5.9. Comparación muestra estándar 3 capas (M3C) a 72 horas.



Figura 5.10. Comparación muestra estándar 3 capas (M4C) a 72 horas.

### 5.4.1. Discusión de resultados

En este apartado se discutirá el gradiente de amarillez ( $\Delta Y$ ), la escala de grises ( $\Delta G$ ) (mencionadas en el apartado anterior) y algunas normas ASTM relacionadas.

**Gradiente de amarillez ( $\Delta Y$ ).** Mide que tanto la muestra tendió hacerse más amarilla debido a la exposición a los rayos UV de la cámara de intemperismo. Valores por encima de 2 unidades ya son considerados importantes. El amarillamiento en una pintura es debido a la formación de cromóforos (grupo de moléculas de átomos responsables de su color) después de absorber cierta longitud de onda en la zona UV. [58]

**Escala de grises ( $\Delta G$ ).** Es simplemente una propiedad visual, indica el cambio de tonalidad de la muestra en 1 solo eje. Trabaja en un rango de 0-5, valores por debajo de 3.5 indica un gran cambio en la muestra, mientras que valores superiores indican que la muestra posee un buen comportamiento de intemperismo, siendo 5 un excelente valor donde no hubo prácticamente ningún de cambio.

Las normas ASTM utilizadas para la estandarización de la muestra fueron:

**NORMA ASTM D 660-93.** Standard test method for evaluating degree of checking of exterior paints (Método estándar para la evaluación del grado de grietas en pinturas exteriores).

**NORMA ASTM D 662-93.** Standard test method for evaluating degree of erosion of exterior paints (Método estándar para la evaluación del grado de erosión en pinturas exteriores).

**NORMA ASTM D 714-87.** Standard test method for evaluating degree of blistering of paints (Método estándar para la evaluación del grado de ampollas en pinturas exteriores).

#### MUESTRAS ESTÁNDAR A 2, 3 Y 4 CAPAS A 0 HORAS.

Después de 7 días de secado y 1 día en la cámara de acondicionamiento controlado, sin ser expuestas a la cámara de intemperismo, se pueden observar muestras estándar color blanco mate con algunas líneas marcadas, posiblemente debido al instrumento utilizado para pintar (rodillo), pero que en general presentan un comportamiento común. Las muestras son bastante similares, únicamente varía un poco el grado nivelación, ya que la muestra a 4 capas presenta una pequeña mejora en la nivelación del recubrimiento pero sin llegar a ser muy notorio.

### MUESTRAS EXPUESTAS 2 CAPAS A 72 HORAS.

De acuerdo a la Tabla 5.2, y en comparación a la muestra estándar, las muestras presenta un gradiente de amarillez promedio  $\Delta Y = 0.87$  que indica que las muestras sufrieron un amarillamiento muy ligero y un valor en la escala de grises promedio  $\Delta G = 4.5$  que indica que las muestras poseen un excelente comportamiento de acuerdo a las condiciones degradativas.

Respecto a la norma **ASTM D 661-93**, evaluando el grado de agrietamiento, se puede observar que existen grietas leves tipo aleatorio (no tienen ningún orden entre sí) en combinación con grietas tipo curva (que no cierran el círculo), e inclusive tipo mosaico (se unen formando figuras geométricas) pero que son bastante pequeñas.

Respecto a la norma **ASTM D 662-93**, evaluando el grado de erosión, se puede observar que existen zonas aisladas donde se pueden ver pequeños cráteres pero donde un resultado numérico no es posible, por lo tanto se puede decir que no existen indicios de erosión.

Respecto a la norma **ASTM D 714-87**, evaluando el grado de ampollamiento, se puede observar que existen algunas ampollas aisladas, pocas densas, muy pequeñas (que inclusive pueden deberse al aglutinamiento de algunos componentes de la propia pintura) pero que no son muy comunes, por lo que tienen un excelente comportamiento (9 en escala 0-10).

### MUESTRAS EXPUESTAS 3 CAPAS A 72 HORAS.

Según la tabla 5.3, y en comparación a la probeta estándar, las muestras presenta un gradiente de amarillez promedio  $\Delta Y = 0.93$ , lo que indica que las muestras sufrieron un amarillamiento ligeramente mayor en comparación a las muestras a 2 capas pero que aun así es muy bajo, y un valor igual en la escala de grises promedio  $\Delta G = 4.5$ , que indica que las muestras poseen un muy buen comportamiento de acuerdo a las condiciones degradativas.

Respecto a la norma **ASTM D 661-93**, se puede observar que también existen grietas leves tipo aleatorio y tipo curva pero que son aún más pequeñas en comparación a las muestras a 2 capas.

Respecto a la norma **ASTM D 662-93**, se observa que también existen pequeños cráteres pero que son de menor tamaño y menor número en comparación a las muestras a 2 capas.

Respecto a la norma **ASTM D 714-87**, no presenta grandes cambios de acuerdo al grado de ampollamiento en comparación a las muestras a 2 capas, de igual manera se tiene un valor promedio de 9.

### MUESTRAS EXPUESTAS 4 CAPAS A 72 HORAS.

Según la tabla 5.4, y en comparación a la probeta estándar, las muestras presenta un gradiente de amarillez promedio  $\Delta Y = 1.02$ , lo que indica que las muestras sufrieron un amarillamiento todavía ligeramente mayor en comparación a las muestras a 2 capas y 3 capas pero que aun así es casi imperceptible, un valor igual en la escala de grises promedio  $\Delta G = 4.5$ , que indica que las muestras poseen un excelente comportamiento de acuerdo a las condiciones degradativas.

Respecto a la norma **ASTM D 661-93**, se puede observar que ya casi no existen grietas de ningún tipo, presentando un mejor comportamiento en comparación a las muestras a 2 capas y 3 capas respectivamente.

Respecto a la norma **ASTM D 662-93**, se puede observar que todavía existen pequeños cráteres de igual tamaño pero un menor número en comparación a las muestras a 2 capas y 3 capas.

Respecto a la norma **ASTM D 714-87**, no presenta grandes cambios de acuerdo al grado de ampollamiento en comparación a las muestras a 2 capas y 3 capas, de igual manera se tienen un valor promedio de 9 con ampollas poco densas.

Por cuestión de tiempo, el presente trabajo se enfoca principalmente en las condiciones artificiales aceleradas simuladas, para ello es necesario realizar ensayos de envejecimiento de forma controlada para sacar conclusiones a escala de laboratorio, no solo para cumplir con algunas normativas, sino también para garantizar el comportamiento de cualquier producto en los meses venideros, evitando graves repercusiones tales como: un mal funcionamiento, poca seguridad, daños colaterales y perjuicios económicos derivados del desconocimiento del comportamiento de las muestras. <sup>[61]</sup>

De acuerdo al recubrimiento en estudio, se puede observar que el gradiente de amarillez ( $\Delta Y$ ) de las muestras a 2, 3 y 4 capas después de 72 horas respecto a la muestra estándar, se mantienen muy similares, por lo que se puede decir que se tiene un muy buen comportamiento frente a la fuente de radiación (rayos UV) que es la variable que afecta en mayor medida este concepto, manteniendo un valor de color casi constante.

Respecto al cambio en la escala de grises ( $\Delta G$ ), la muestras a 2, 3 y 4 capas no cambiaron casi en nada, mostrando un excelente comportamiento frente a los cambios de temperatura, humedad y radiación en conjunto, por lo que de igual manera se puede concluir que el recubrimiento en estudio posee componentes que lo hacen fuerte frente a las principales adversidades naturales.

Respecto a las normas ASTM, se puede notar que también se tienen un excelente comportamiento ya que no se observan daños considerables en las muestras, únicamente se observó que se tiene un ligero mejor comportamiento a la cámara en las probetas a 4 capas, pero que general se puede concluir que todas las muestras mostraron un excelente comportamiento, pronosticando un muy buen futuro en los meses e incluso años venideros.

Después de una prueba de intemperismo, normalmente las pinturas orgánicas sufren un deterioro estructural tal como pérdida de brillo, cambios de color y propiedades mecánicas, todo esto debido a la radiación incidente, humedad y temperatura principalmente, cuando la radiación incide sobre la película, provee energía en forma de fotones capaces de romper cadenas en presencia de agua (humedad), estos rompimientos conducen a la hidrólisis, descarboxilación, presencia de radicales libres y fotooxidación que en su momento son influenciados por la temperatura. [66, 156]

Después de 72 horas de exposición, se puede observar que las muestras se volvieron ligeramente más ásperas, lo que conlleva a una disminución en la pérdida de brillo de la pintura y en consecuencia disminuye el índice de reflectancia (como se pudo observar en el capítulo anterior) y cambia algunas propiedades, pero según los resultados obtenidos, las muestras presentan un excelente comportamiento frente a las diferentes variables de temperatura, rayos UV y humedad que se vieron expuestas.

## 5.4.2. Conclusiones

Un tema de mucha discusión por mucho tiempo, es que no existe buena correlación entre un proceso artificial acelerado y uno natural. Se pueden encontrar varios artículos con correlaciones parciales pero ninguno que satisfaga completamente, en otras palabras, no es posible crear un proceso artificial acelerado equivalente a uno natural, esto debido a que el método acelerado es una simplificación de una situación real (no es todo un proceso completo), otro aspecto es que la duplicación del complejo espectro solar es extremadamente difícil de igualar, además que solo se toma en consideración algunos tipos de exposición y no todo aquellos a los que se puede ver expuesto el material. Esto hace la predicción de intemperismo muy difícil de calcular que puede llevar a falsas conclusiones. [62, 63, 68]

Debido a la complejidad y variabilidad intrínseca de las variadas situaciones de exposición, es teóricamente imposible obtener una equivalencia o factor de conversión que multiplique las horas de exposición artificial para simular años de exposición en exteriores. Buscar tal número requiere forzar los datos más allá de los límites de su validez.

Que no se tenga una correlación exacta no quiere decir que las cámaras de intemperismo artificial acelerado no sean útiles, aunque no proporcionen un factor de conversión

equivalente exacto, se puede obtener una idea muy buena del comportamiento futuro del material, que en conjunto con la experiencia y conocimientos del laboratorista es posible tener resultados muy aproximados a los reales.

Dependiendo del tipo de pintura y ambiente, algunos estudios demuestran que las cámaras de intemperismo aceleran el proceso degradativo aproximadamente entre 12 y 15 veces en un clima moderado. <sup>[156]</sup>

El principal objetivo de una “predicción de servicio de vida” sería contestar las siguientes preguntas: ¿Cuánto tiempo tardará el producto en fallar en campo? ¿Cómo fallará? ¿Cuáles son las consecuencias?, pero varios estudios han concluido que no existe manera de responder exactamente dichas preguntas, solo queda tratar de reproducir de la mejor manera posible tales estudios con el fin de obtener resultados lo más reales posibles. <sup>[59, 68]</sup>

Estudios demuestran que las pinturas poliméricas después de 1 año de exposición al ambiente, resulta en un decremento de espesor de aproximadamente entre 5-25  $\mu\text{m}$  debido al surgimiento de defectos superficiales (ampollas, grietas, erosión), unas formas de medir este cambio es evaluando nuevamente el espesor o medir la pérdida de peso de la película. Esta también es una manera de tener alguna idea de que tanto se degradó el recubrimiento después de ser expuesto a la cámara de intemperismo. <sup>[58]</sup>

La evaluación del grado de degradación va acompañado de chequeos visuales que son muy útiles, sin embargo, también existen técnicas más precisas y menos subjetivas como el microscopio electrónico de barrido (SEM), espectroscopia infrarroja de la transformada de Fourier (FTIR) y la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). <sup>[62-64, 66, 67]</sup>

La humedad relativa (RH) es una variable muy importante, lugares donde la RH alcanza el 100% es altamente agresiva ya que puede conducir al surgimiento de ampollas. Este fenómeno ha sido ampliamente discutido, algunos autores confirman que los productos de degradación solubles penetran dentro de la pintura cuando se encuentra en la fase de pintado (húmeda) y que no pueden escapar durante el periodo de secado, como resultado agua adicional es absorbida creando células osmóticas debajo de la película superficial, que posteriormente se convierten en ampollas alrededor de áreas localizadas oxidadas. <sup>[66,67]</sup>

Todo defecto superficial puede conducir a una reacción de corrosión, por ejemplo, pequeños poros son responsable de obstaculizar el transporte de masa creando sitios corrosivos (ataque localizado), por lo que una pintura con buenas propiedades superficiales es deseada. <sup>[67]</sup>

Finalmente, se puede concluir que los componentes del recubrimiento en estudio, trabajan sinérgicamente para proveer a la película excelentes propiedades frente a las principales adversidades naturales, es decir, el recubrimiento nano aislante térmico base agua NTC-

16710-9000 presentó un muy buen comportamiento en la cámara de intemperismo, por lo que se augura un muy buen futuro cuando se encuentre en uso en cualquier edificación.

En conclusión, el entendimiento y la medida cuantitativa de las propiedades de las pinturas, permitirá crear nuevos diseños científicos capaces de soportar condiciones adversas o mejorar los existentes, además de la habilidad para entender la falla cuando se pueda presentar. [63]

## 5.5. Adhesión

La prueba de adhesión se realizó de acuerdo a la norma **ASTM D 4541-02** Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers en un tensometro universal marca INSTRON (ver Figura 5.11).



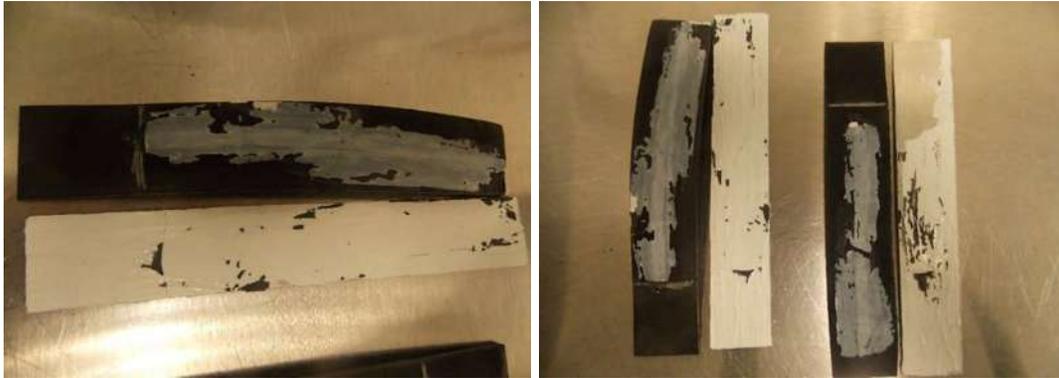
**Figura 5.11.** Tensometro universal marca INSTRON.

Se utilizaron las probetas de aluminio 1100 con medidas de 2.5 cm de ancho por 15 cm de largo, pintadas únicamente con el recubrimiento de estudio. Las probetas se pegaron a un hule utilizando un pegamento marca LOCTITE 401 esperando un lapso de tiempo de 4 horas para permitir el correcto secado.

Una vez adheridas las capas, fueron sometidas al proceso de tensión para medir la fuerza necesaria para separar el recubrimiento desde el sustrato, se manejaron velocidades de desprendimiento de 50 mm/min. Se trabajó con 10 probetas para cada espesor o 30 en total, es decir, 10 probetas para 2 capas, 10 para 3 capas y 10 para 4 capas.

Desafortunadamente la prueba de adhesión falló (ver Figura 5.12), mayormente en las muestras a 3 y 4 capas, esto debido al tipo de sustrato y tipo de resina de la pintura. Cabe mencionar que desde antes de realizar la prueba se tenían sospechas de que pudiera no funcionar, ya que el sustrato utilizado es un metal nuevo con una superficie muy lisa (poco porosidad) lo que no ayuda en el fenómeno de adhesión, además, el tipo de resina del que

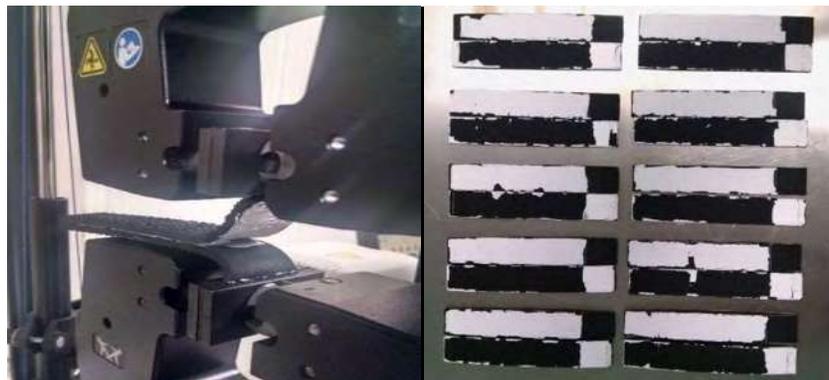
está compuesto el recubrimiento no es muy favorable en cuanto adhesión a superficies metálicas, de hecho se recomendaba utilizar una capa de anclaje primario, pero por indicaciones del sintetizador de la pintura no se realizó.



**Figura 5.12.** Falla de la adhesión del recubrimiento.

Una vez fallado el método se tenían 2 opciones, la primera sería cambiar el tipo de sustrato a utilizar y la segunda sería aplicar un recubrimiento de anclaje primario. En pláticas y por recomendación, se optó por cambiar el sustrato, es decir, no se optó por aplicar un recubrimiento de anclaje primario ya que en la práctica esta pintura no estaba destinada a ser utilizada de esa manera.

Al principio se deseaba utilizar un sustrato de concreto o tabla roca, pero por motivos de corte y adecuación de las probetas en el equipo no se pudo realizar, por lo que se seleccionó un material de fácil manejo pero que tuviera condiciones similares, en este caso se eligió un sustrato de hule con una rugosidad muy similar a la del concreto pero con facilidad de corte y mayor adecuación para poder trabajar en el equipo correspondiente.

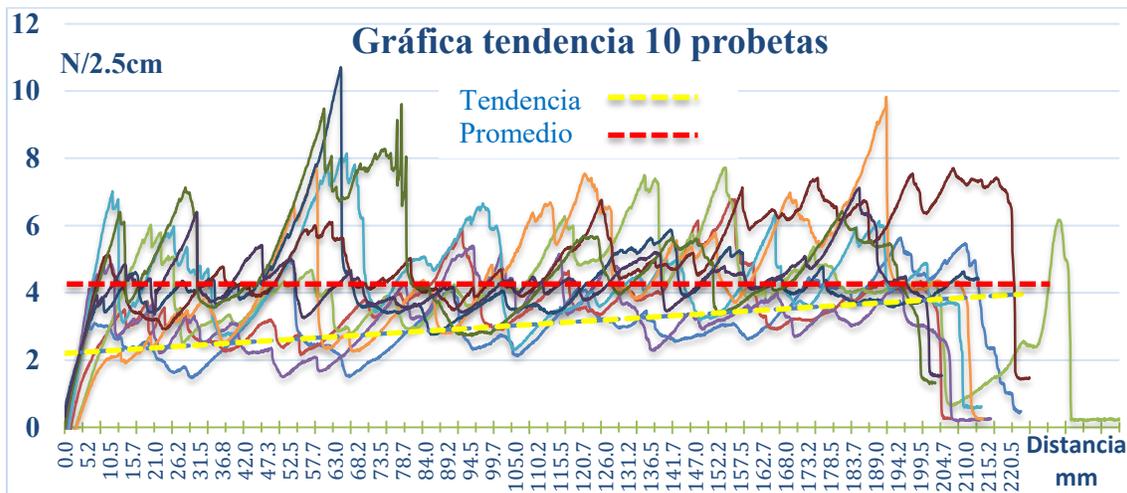


**Figura 5.13.** Procedimiento de la prueba y muestras finales de adhesión.

De igual manera se procedió a las cortar probetas de hule (Figura 5.13) con las mismas dimensiones antes mencionadas, pero esta vez solo fueron 10 probetas a 2 capas. El equipo, pegamento y procedimiento fue exactamente el mismo, arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 5.6.** Resultados promedio y grafica de la prueba adhesión (10 probetas).

Nº de probeta	Valores de fuerza (N/2.5cm)	Valores de masa (Kg/2.5cm)
1	3.08	0.31
2	3.54	0.36
3	3.82	0.39
4	3.14	0.32
5	4.39	0.45
6	4.33	0.44
7	4.24	0.43
8	5.04	0.51
9	4.83	0.49
10	4.27	0.44
<b>Promedio</b>	<b>4.068</b>	<b>0.41</b>



### 5.5.1. Discusión de resultados

Desafortunadamente no siempre existe una comprensión científica de todas las variables que influyen en la adhesión, además que los resultados pueden ser muy relativos (sin llegar a ser comparables) de acuerdo al tipo de equipo utilizado, al pre-tratamiento de la superficie, al mismo recubrimiento, al tipo de medición, etc.

Una controversia con la palabra adhesión es su dificultad para definirla, en la mayoría de los casos, un formulador lo pensaría en forma de pregunta ¿Qué tan difícil es remover el recubrimiento?, pero desde un punto de vista científico puede ser la cantidad de trabajo requerido para separar dos interfaces que están adheridas.

En este caso los resultados obtenidos son presentados en la cantidad de trabajo por unidad de longitud necesario para separar las interfaces concernientes al estudio, es decir, la cantidad de fuerza necesaria para separar el recubrimiento del sustrato de hule.

De acuerdo a la Tabla 5.6, se puede observar que las 10 probetas a 2 capas presentan tendencias similares sin llegar a ser iguales. La unidad de fuerza usada como parámetro de estudio es el Newton (N), medida internacional reconocida y popular con la que la mayoría de los investigadores están familiarizados. La fuerza es medida por unidad de longitud (2.5cm), que en este caso es el ancho de la probeta utilizada, es decir, la cantidad de fuerza necesaria para desprender el recubrimiento por cada 2.5cm de ancho de película.

De acuerdo a la Figura 5.13, se puede observar que no fue una falla cohesiva, se tuvo una falla puramente interfacial, es decir, una falla del tipo adhesiva, ya que no falló el sustrato, ni el pegamento, por lo tanto, se pudieron obtener resultados numéricos del procedimiento.

De acuerdo a la Tabla 5.6, se tiene un valor de fuerza promedio por unidad de longitud de  $F_{prom} = 4.06 \text{ N}/2.5\text{cm}$  o convirtiendo a valores de Kg únicamente dividimos entre la gravedad ( $9.81\text{m/s}^2$ ), obteniendo un valor de  $F_{prom} = 0.41 \text{ Kg}/2.5\text{cm}$ , es decir, se necesita de aproximadamente  $\frac{1}{2} \text{ Kg}$  de fuerza perpendicular a la superficie para separar el recubrimiento del sustrato.

De acuerdo a la gráfica de la Tabla 5.6, se puede observar que todas las probetas poseen un comportamiento similar con algunos picos atípicos pero sin llegar a estar fuera de lo común, también se puede ver que los mayores valores de adhesión se presentan a la mitad del recorrido (tendencia en aumento), quizás debido a que es la zona donde existen las mayores fuerzas de cohesión intermoleculares y por obvias razones de adhesión con el sustrato.

De acuerdo a artículos relacionados y según la experiencia del laboratorista que realizó el estudio, el resultado promedio obtenido es un valor relativamente medio-bajo, quizás a que las fuerzas de interacción adhesivas son puramente mecánicas (debido únicamente a la rugosidad), ya que no se realizaron tratamientos para también tener interacciones químicas y elevar el grado de adhesión.

Se presenta un tipo de falla puramente superficial, lo que quiere decir que la pintura y el sustrato no tuvieron interacción química, es decir, solo existe interacción mecánica. Existen métodos para lograr una interacción química y así aumentar los valores de adhesión, algunas técnicas conocidas son: la activación por plasma, la formación de enlaces de carbonilo de metal, deposición química de vapor. <sup>[75]</sup>

El presente ensayo es una prueba destructiva. La interpretación de los resultados siempre debe de ser muy cuidadosa. Los resultados no son comparables con ningún otro tipo de ensayo de adhesión, además de que los valores obtenidos son únicos para el actual ensayo, pudiendo cambiar en caso de variar cualquier parámetro (sustrato, rugosidad, espesor película, preparación superficie, etc.).

Los valores son bajos pero aceptables, ya que la pintura se encuentra destinada a exteriores de edificios en general, donde casi no existe contacto con otros cuerpos que puedan proveer alguna fuerza mayor para desprender el recubrimiento, por lo tanto, se podría decir que puede desarrollar bien su función.

En este caso las muestras de adhesión no se sometieron a una cámara de intemperismo (muestras nuevas), sin embargo, estudios demuestran que después de ser expuestas al ambiente los valores de adhesión disminuyen considerablemente (rompimiento de cadenas poliméricas), por lo que hay que tener en cuenta este aspecto ya que si los valores de adhesión no son muy elevados pueden tender a disminuir aún más. <sup>[67]</sup>

### 5.5.2. Conclusiones

Químicamente hablando, recubrimientos con viscosidades relativamente bajas, lenta evaporación del solvente y una lenta polarización, proporcionan una mejor adhesión. Otro aspecto de suma importancia es la tensión superficial, un líquido debe tener una menor tensión superficial que el sustrato para que se distribuya de manera adecuada sobre él y no queden residuos en forma de gotas. La adhesión en húmedo resulta sensiblemente inferior a la adhesión en seco. Generalmente recubrimientos secados en horno poseen mejor adhesión que secados con aire. <sup>[28, 71, 113]</sup>

La falla en un ensayo de adhesión puede deberse a un alto contenido de pigmento, cuando se tiene una elevada concentración (Pigment Volume concentration PVC), una falla adhesiva suele convertirse en una falla cohesiva. <sup>[131]</sup>

Starostina encontró que un tratamiento con aminas aromáticas primarias aumenta la adhesión en metales debido a la interacción metal-aminas. Yan estudió el efecto de un pretratamiento para aumentar la adhesión, encontró que la adhesión mejora incrementando la temperatura en un tratamiento de precalentamiento. <sup>[131, 158, 159]</sup>

Un estudio paramétrico basado en modelos analíticos demuestra que la adhesión no cambia en relación al espesor de la pintura, por lo tanto es número de capas no influye mucho en los resultados finales. <sup>[157]</sup>

En conclusión, los valores de adhesión para el recubrimiento nano aislante térmico base agua NTC-16710-9000 se pueden mejorar, como se mencionó anteriormente, esto depende de muchos factores, que quizá están fuera del control del sintetizador (preparación superficie, sustrato, método de aplicación, etc.), sin embargo, una posible solución que si está a su alcance, es variar algunos parámetros, porcentajes o componentes para aumentar esta variable sin perder las propiedades fundamentales del recubrimiento.

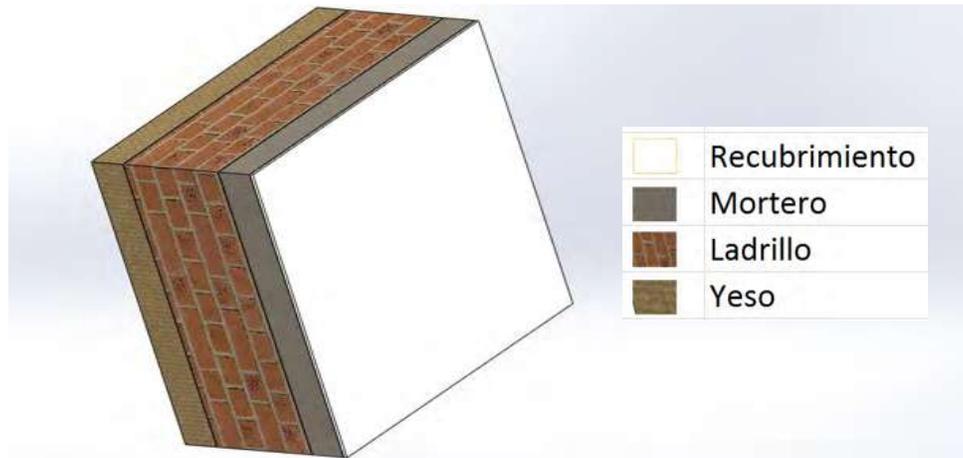
## 5.6. Elemento finito por computadora (ANSYS)

La simulación del proceso se llevó a cabo en el programa de elemento finito por computadora conocido como ANSYS workbench versión 14.5 con todos los datos e información necesaria para llevar a cabo una correcta simulación.

Se simuló el recubrimiento en estudio aplicado a una pared con materiales, espesores y propiedades conocidas. La simulación se hizo de la forma más precisa, común y cercana a la realidad posible, como sería una pared habitual en la práctica de una construcción de una casa como se muestra en la Figura 5.14. Los materiales, espesores y propiedades utilizados se muestran en la Tabla 5.7.

**Tabla 5.7.** Materiales utilizados para la simulación con sus propiedades y dimensiones.

Material	Conductividad térmica (k)	Espesor (L)
1. Ladrillo	0.8 w/m <sup>2</sup> °C	14 cm
2. Aplanado de mortero	1.4 w/m <sup>2</sup> °C	2 cm
3. Aplanado de yeso	0.5 w/m <sup>2</sup> °C	2 cm
4. Recubrimiento en estudio	0.05069 w/m <sup>2</sup> °C	0.018 cm (2 capas)



**Figura 5.14.** Representación esquemática de las diferentes capas de la pared.

Se realizaron 2 simulaciones con diferentes temperaturas, la primera de llevo a cabo aplicando una carga térmica de 40°C, un valor de radiación de 1500 w/m<sup>2</sup>-h y un coeficiente de convección de 25 w/m<sup>2</sup>°C en la superficie exterior que es propiamente la superficie del lado del recubrimiento, la segunda simulación se llevó a cabo con una carga térmica de 35°C con los mismos parámetros pasados, obteniendo los siguientes resultados o imágenes de la distribución de temperatura de la simulación una vez terminada:

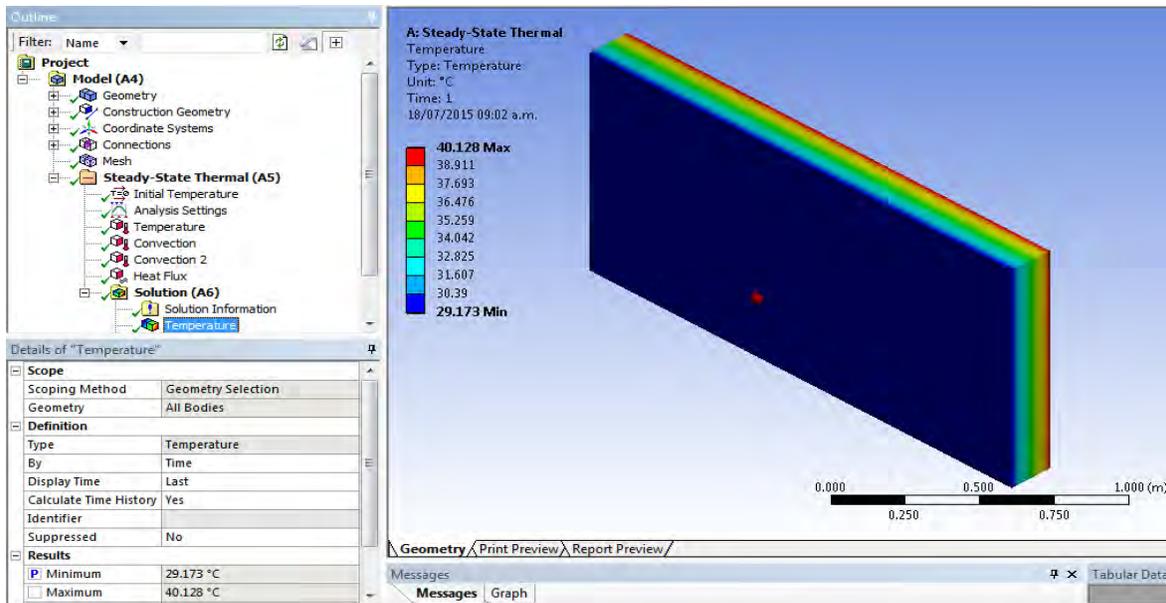


Figura 5.15. Diferencial de temperatura obtenido con una carga térmica de 40°C.

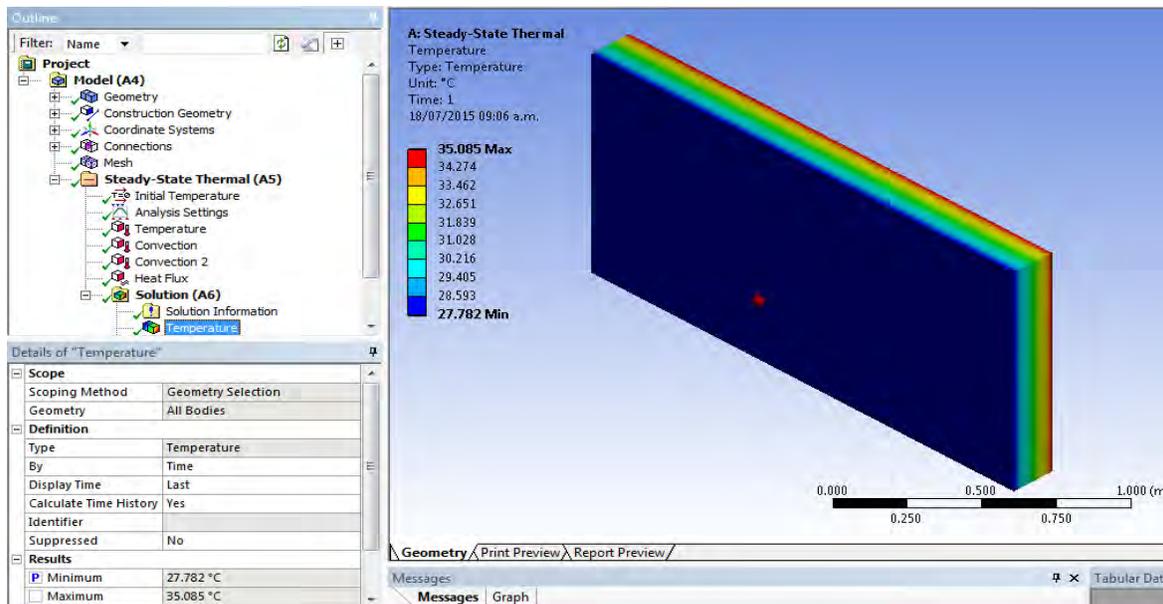


Figura 5.16. Diferencial de temperatura obtenido con una carga térmica de 35°C.

### 5.6.1. Discusión de resultados

Resultados obtenidos en la Figura 5.15, con una carga térmica o temperatura exterior  $T_{ext} = 40^{\circ}\text{C}$  demuestran que con los materiales, espesores ( $L$ ) y conductividades térmicas ( $K$ ) correspondientes, se obtiene un gradiente de temperatura  $\Delta T = 10.955^{\circ}\text{C}$ , es decir, del otro lado de la pared se tiene una temperatura interior  $T_{int} = 29.173^{\circ}\text{C}$ .

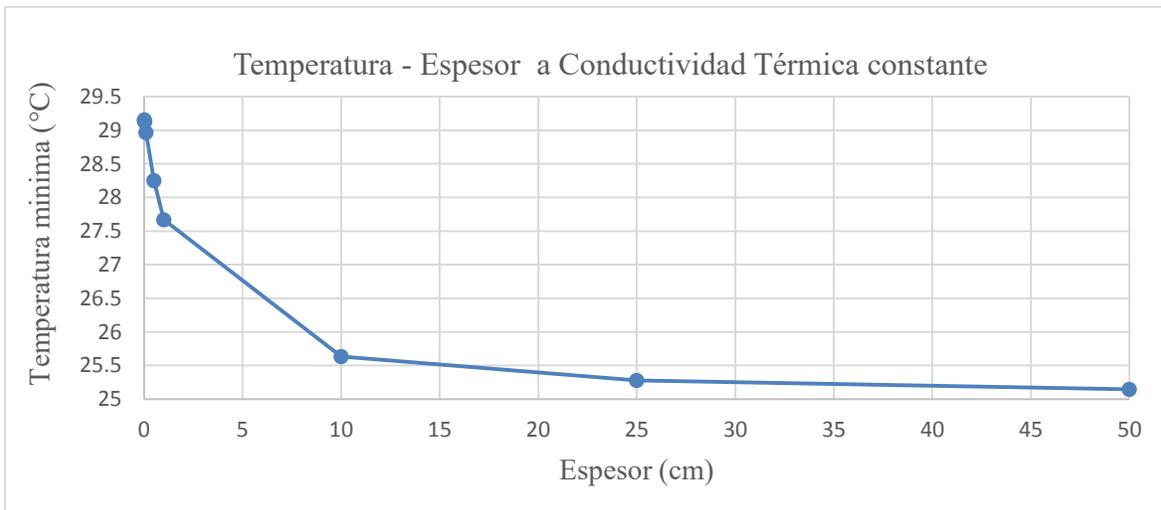
En los resultados obtenidos en la Figura 5.16, con una  $T_{ext} = 35^{\circ}\text{C}$  se puede observar que con los materiales, espesores (L) y conductividades térmicas (K) proporcionadas, se tiene una temperatura interior  $T_{int} = 27.782^{\circ}\text{C}$ , es decir, se obtiene un gradiente de temperatura  $\Delta T = 7.303^{\circ}\text{C}$  del otro lado de la pared (menor que el anterior).

Como se puede observar el gradiente de temperatura disminuye cuando la carga térmica disminuye ( $40^{\circ}\text{C} \rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ ), esto es debido a que el flujo calor no es lineal, es decir, no por bajar o subir la temperatura siempre se va a tener el mismo gradiente como se puede observar.

Ahora, lo importante es que tanto ayuda el recubrimiento para reducir la transferencia de calor hacia de interior de la pared, para llegar a conocer este dato, se utilizó una herramienta muy útil del propio programa (ANSYS) conocida como “parametrización”, es decir, ir variando el espesor del recubrimiento hasta llegar a obtener una temperatura interior deseada (en este caso se optó de  $25^{\circ}\text{C}$  que es una temperatura confortable), esto se realizó parametrizando el espesor de la pintura (en centímetros), con la temperatura deseada en el interior con una conductividad térmica constante ( $\text{w/m}^2\text{C}$ ), obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 5.8.** Variación del espesor de la película a conductividad térmica constante (graficado).

Table of Design Points				
	A	B	C	D
1	Name	P4 - Espesor	P5 - Thermal Conductivity	P3 - Temperature Minimum
2	Units		$\text{W m}^{-1} \text{C}^{-1}$	C
3	Current	0.01	0.05069	29.173
4	DP 1	0.018	0.05069	29.153
5	DP 2	0.03	0.05069	29.125
6	DP 3	0.1	0.05069	28.966
7	DP 4	0.5	0.05069	28.252
8	DP 5	1	0.05069	27.669
9	DP 6	10	0.05069	25.635
10	DP 7	25	0.05069	25.279
11	DP 8	50	0.05069	25.145

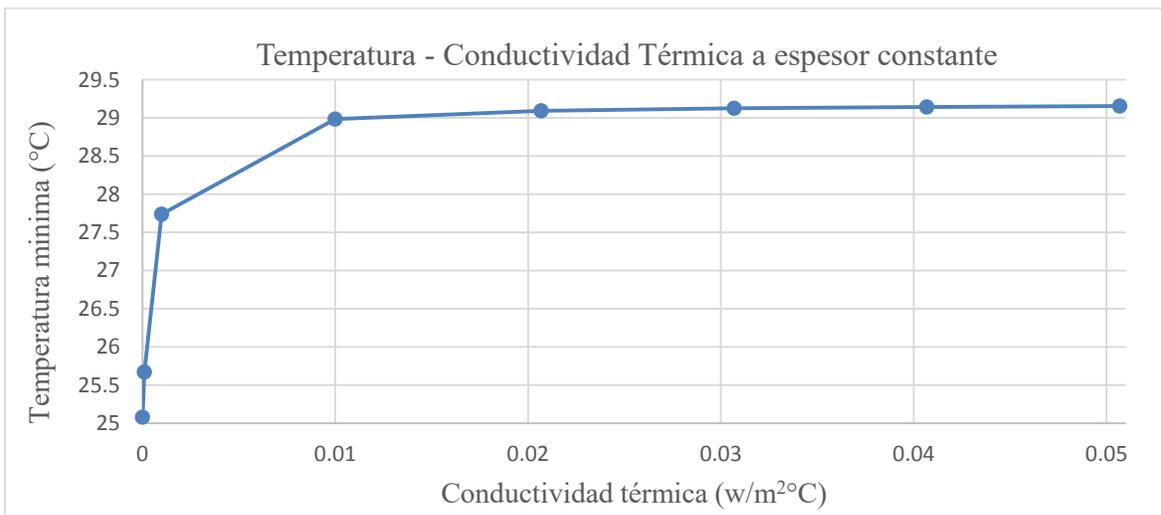


De acuerdo a la Tabla 5.8, se puede observar que aumentando el espesor del recubrimiento, disminuye ligeramente la temperatura pero en cantidades extremadamente pequeñas, es decir, si se desea obtener una  $T_{int} = 25^{\circ}\text{C}$ , se necesitaría tener un espesor de película de aproximadamente 50 cm como se ve en la gráfica, lo que esta fuera de la realidad.

Como se puede demostrar, variando ligeramente el espesor del recubrimiento no se obtienen grandes diferencias, o mejor dicho, no es una ruta conveniente a seguir en el modelo. Desde otro punto de vista, lo que se puede hacer es variar la conductividad térmica (K), es decir, ahora ir disminuyendo los valores de K hasta obtener la  $T_{int} = 25^{\circ}\text{C}$  deseada. Nuevamente se parametrizó, pero ahora parametrizando la conductividad térmica con la temperatura interior con un espesor constante obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 5.9.** Variación de la conductividad térmica de la película a espesor constante (graficado).

Table of Design Points				
	A	B	C	D
1	Name	P4 - Espesor	P5 - Thermal Conductivity	P3 - Temperature Minimum
2	Units		$\text{W m}^{-1} \text{C}^{-1}$	C
3	Current	0.018	0.05069	29.153
4	DP 1	0.018	0.04069	29.143
5	DP 2	0.018	0.03069	29.125
6	DP 3	0.018	0.02069	29.092
7	DP 4	0.018	0.01	28.985
8	DP 5	0.018	0.001	27.736
9	DP 6	0.018	0.0001	25.668
10	DP 7	0.018	1E-05	25.078



De acuerdo a la Tabla 5.9 se puede observar que bajando la conductividad térmica de la pintura polimérica, si disminuye la temperatura pero en cantidades de nuevo extremadamente pequeñas, es decir, si de nuevo se desea obtener una  $T_{int} = 25^{\circ}\text{C}$ , se necesitaría tener una conductividad térmica de aproximadamente  $K = 0.00001 \text{ w/m}^2\text{C}$  como se ve en la tabla, lo

que son valores extremadamente bajos (tendiendo a cero “aislante casi perfecto”), lo que resulta no viable para reducir la temperatura mediante este parámetro.

Se realizaron las mismas parametrizaciones para una temperatura exterior  $T_{ext} = 35^{\circ}\text{C}$  y una temperatura interior deseada  $T_{int} = 25$ , obteniendo resultados similares, donde un aumento de espesor (L) o disminución de la conductividad térmica (K) de la película no son parámetros muy recomendados a seguir.

Cabe recalcar que esta simulación solo se llevó a cabo para un tipo de pared como sería en una casa habitación común; el espesor (L), materiales y en consecuencia la conductividad térmica (K) podrían cambiar de acuerdo al tipo de construcción, si es un hospital, si es un edificio, una escuela o inclusive a cada ingeniero o arquitecto que realice la obra, pudiendo obtener gradientes de temperatura ( $\Delta T$ ) mayores o menores según sea el caso.

Ambas simulaciones fueron corroboradas con un modelo matemático utilizando la ecuación de Fourier de la conducción para paredes en serie. Para la pared con  $T_{ext} = 40^{\circ}\text{C}$  se obtuvo una  $T_{int} = 28.91^{\circ}\text{C}$  y para la pared con  $T_{ext} = 35^{\circ}\text{C}$  se obtuvo una  $T_{int} = 27.750$ , es decir, los resultados son muy cercanos a los obtenidos en la simulación, por lo que se puede concluir que ambos resultados de la simulación son correctos y confiables.

Los valores de convección natural y flujo de calor no influyen demasiado ya que varían muy poco los resultados finales, por lo que pueden ser despreciados.

## 5.6.2. Conclusiones

Por el hecho de ser un recubrimiento blanco refleja los rayos solares y actúa como un aislante en sí, pero en este caso se está evaluando la transferencia de calor por conducción (contacto) que nada tiene que ver con la reflectancia del recubrimiento, es decir, si refleja los rayos solares y actúa como aislante, pero de radiación no de conducción. Resulta conveniente explicar ya que puede existir confusión.

En comparación con otros aislantes térmicos usados en la construcción (ver tabla 4.2), la conductividad térmica del recubrimiento en estudio no es extremadamente buena, pero tampoco mala, pero **el gran problema son los espesores**, es decir, cuando observamos un aislante térmico común, se puede notar que maneja espesores de varios centímetros, en comparación con la película delgada que maneja espesores en el rango de las micras; lo que se quiere dar entender es que el gran problema de una pintura térmica no es tanto su conductividad térmica, sino más bien los espesores que maneja que son extremadamente reducidos en comparación con los aislantes térmicos utilizados en la práctica.

El análisis por elemento finito es una herramienta que se está convirtiendo en indispensable para la simulación de procesos y problemas en casi todas las áreas de las industrias, por su facilidad de uso y por todas aquellas ventajas antes mencionadas, por lo que se recomienda poner una especial atención en este tipo de tecnología. <sup>[124]</sup>

De acuerdo a los resultados obtenidos, la pintura influye muy poco en la transferencia de calor por conducción, por lo que no funcionaría como un buen aislante térmico de contacto (conducción).

Se puede concluir que el recubrimiento delgado no tendrá mucha influencia en la transferencia de calor por conducción así tenga los componentes con las conductividades térmicas más bajas conocidas, por lo tanto no existe mucho margen de trabajo para mejorar el recubrimiento nano aislante térmico base agua NTC-16710-9000.

## CONCLUSIONES GENERALES

Respecto a la caracterización óptica llevada a cabo conocida como reflectancia, se puede concluir finalmente que los valores obtenidos se encuentra en un rango medio, es decir, todavía hay trabajo por hacer en relación a este concepto.

Respecto a la caracterización química llevada a cabo conocida como intemperismo, se puede concluir finalmente que los valores e imágenes mostraron muy buenos resultados, por lo que se puede decir que los componentes están a la altura en relación a este concepto.

Respecto a la caracterización mecánica llevada a cabo conocida como adhesión, se puede concluir finalmente que los valores obtenidos se encuentran en un rango medio-bajo, es decir, nuevamente hay que trabajar un poco más en relación a este concepto.

Por último, respecto a la simulación por elemento finito (ANSYS), se puede concluir finalmente que mientras siga siendo una película delgada en el rango de las micras, existe poco campo de acción en el área de los aislantes térmicos.

En el 2009 el mercado global de pinturas alcanzo los \$90 billones en ventas. En conclusión general, es muy interesante el actual avance de los recubrimientos, este acelerado progreso ha resultado en un incremento de investigaciones, que a su vez ha permitido el aumento de actividades industriales, ya sea aumentando la producción o creando industrias totalmente nuevas, dando lugar a nuevos puestos de trabajo y elevando el nivel de vida, lo cual amplía el poder adquisitivo y expansión de los mercados de las pinturas y productos afines. <sup>[35, 100]</sup>

“La industria de los recubrimientos es un buen campo de acción para un nuevo emprendedor”

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Mercedes. D. Torres, “Energías Renovables Y Eficiencia Energética”. Instituto tecnológico de Canarias. 1ra edición. 2008.
- [2] L. A. Energía, “Energía Y Fuentes De Energía. Energía Eléctrica”
- [3] L. Raju, S. Sankar, and R. S. Milton, “Distributed Optimization Of Solar Micro-Grid Using Multi Agent Reinforcement Learning”. *Procedia Comput. Sci.*, vol. 46, no. Ict 2014, pp. 231–239, 2015.
- [4] Malcolm P. Stevens, “Polymer Chemistry And Introduction”. University of Hartford New York, Oxford University press. 1999.
- [5] A. Ravve, “Principles Of Polymer Chemistry”. Third edition. Springer. Niles, IL, USA. 2012.
- [6] C. S. Good, G. Lobaccaro, and S. Harklau, “Optimization Of Solar Energy Potential For Buildings In Urban Areas – A Norwegian Case Study”. *Energy Procedia*, vol. 58, no. 1876, pp. 166–171, 2014.
- [7] A. P. Mathews, “Renewable Energy Technologies: Panacea For World Energy Security And Climate Change?” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 32, pp. 731–737, 2014.
- [8] P. Deligny and N. Tuck, “Resins For Coatings”. Alkyds & Polyesters. 2 ed. Vol. II.
- [9] Tesis doctoral. Verónica Calderón Carpinteo, “Síntesis, Caracterización, Propiedades Y Aplicaciones De Nuevas Poliamidas Aromáticas Con Subestructuras Benzoeter Corona Y Benzopodandos En La Cadena Lateral”. Universidad de Burgos, 2007.
- [10] R. Benavente, “Polímeros Amorfos, Semicristalinos, Polímeros Cristales Líquidos Y Orientación”. Instituto de ciencia y tecnología de polímeros. CSIC. Madrid
- [11] Tesis. Joaquín A. Padilla “Síntesis Y Caracterización De Polímeros Conductores Basados En Anilinas Sustituidas Y Su Aplicación En Electrocatálisis”. Universidad de alicante. 2007.
- [12] M. Beltrán y A. Marcilla, “Tecnología De Los Polímeros”. Pp. 1–54.
- [13] Dr. Eleno A. Brindis, “Propiedades Básicas De Los Polímeros”. 2002.
- [14] Libro. José Antonio de Sopena, “Aceros Y Productos Derivados”. Tomo I Y Tomo II. Ed. Urmo, S.A.
- [15] L. Fangmin and W. Jun, “Financial System And Renewable Energy Development: Analysis Based On Different Types Of Renewable Energy Situation”. *Energy Procedia*, vol. 5, pp. 829–833, 2011.
- [16] Jozef Bicerano, “Prediction Of Polymer Properties”. Third Edition, Revised and Expanded. The dow chemical company. Midland, Michingan, U.S.A. 2002.
- [17] Materiales poliméricos y compuestos. Materiales poliméricos de mayor interés industrial. Universidad de Oviedo.
- [18] A. Stirling, “Transforming Power: Social Science And The Politics Of Energy Choices”. *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 1, pp. 83–95, Mar. 2014.
- [19] E.U.A.T. de Sevilla “Materiales II”.
- [20] Tesis. I. N. G. Magda, M. Torres “Estudio Comparativo Del Proceso De Corrosión En Recubrimientos Cerámicos, Metálicos Y Orgánicos Mediante Técnicas Electroquímicas”. Universidad nacional de Colombia. 2010.
- [21] J. Pinto, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, F. Touchard, and D. Mellier, “Micro-Mechanical Analysis Of The Confined Amorphous Phase In Semi-Crystalline Polymers”. *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 3140–3145, 2011.
- [22] Montiel Bondía Cano, “Creación De Una Base De Datos Calorimétrica Para Pinturas Plásticas Caracterización De La Resina Mediante Ensayos Reológicos, Térmicos Y Mecánicos”. 2012.

- [23] Tricolor. “Manual del profesional”.
- [24] T. Yamamoto, “Computer Modeling Of Polymer Crystallization – Toward Computer-Assisted Materials’ Design”. *Polymer (Guildf.)*, vol. 50, no. 9, pp. 1975–1985, Apr. 2009.
- [25] Tesis. Nery Ramírez Jiménez, “Aplicación De Sistemas A Base De Recubrimientos Anticorrosivos Para Instalaciones Superficiales, Ductos, Tuberías Enterradas, Sumergidas E Interfaces”. Universidad Veracruzana. 2012.
- [26] Libro. Carlos A. Guidice y Andrea M. Pereira, “Tecnología De Pinturas Y Recubrimientos”. Componentes, formulación, manufactura y control de calidad. Editorial de la universidad tecnológica nacional Argentina. 2009.
- [27] Esther Larragaña, “Libro Blanco Para La Minimización De Residuos Y Emisiones”. Pintado industrial, IHOBE. Sociedad pública gestión ambiental.
- [28] Zeno W. Wicks, Jr. Frank N. Jones, “Organic Coatings Science And Technology”. Eastern Michigan University. Third edition. 2007.
- [29] J. Andrews and B. Shabani, “Where Does Hydrogen Fit In A Sustainable Energy Economy?”. *Procedia Eng.*, vol. 49, pp. 15–25, 2012.
- [30] M. I. Felipe and C. Rodríguez, “Introducción A Los Nanomateriales”. Departamento de ingeniería, laboratorio de tecnología de materiales, UNAM. 2012.
- [31] Claudia Crowe, “Materiales Y Materias Primas”. Nanomateriales. 2011.
- [32] Rubén Sánchez Hidalgo, “Implicación E Influencia De Las Nanotecnologías Y Nanomateriales En Prevención De Riesgos Laborales”. Centro de seguridad y salud laboral de Castilla y León.
- [33] Tesis. Verónica Marchante Rodríguez Rodríguez, “Síntesis Y Caracterización De Nanopigmentos Basados En Nanoarcillas. Aplicación En Polímeros Termoplásticos Y Evaluación De Propiedades Físico Químicas”. Universidad de Alicante. 2012.
- [34] Tesis. Asunción Yescas Yescas, “Estudio De La Dispersión De Nanoarcillas Organomodificadas Y Dióxido De Titanio (TiO<sub>2</sub>) En Hule Natural”. Universidad de Papaloapan. 2012.
- [35] Libro. Dean H. Parker, “Tecnología De Los Recubrimientos De Superficies”. Enciclopedia de la química industrial. Ed. URMO tomo 7. Detroit Michigan. 1964.
- [36] Libro. B. Viswanathan “Nanomaterials”. Indian institute of technology madras. Ed. Alpha science. India. 2009.
- [37] Guía. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, “El Sol, La Radiación Ultravioleta Y Usted”. 2001.
- [38] Maribel González-Púmariega, Marioly Vernhes Tamayo, Angel Sánchez-Lamar, “Radiación Ultravioleta. Su Efecto Dañino Y Consecuencias Para La Salud Humana”. Vol. 18, no. 2, pp. 69–80. 2009.
- [39] Guía práctica. S. Organización M. Programa de N. Unidas, “Índice UV Solar Mundial”. <http://www.who.int/uv>
- [40] H. Niroumand and M. F. M. Zain, “The Role Of Nanomaterials In Nanoarchitecture”. *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 89, pp. 27–30, 2013.
- [41] C. Som, P. Wick, H. Krug, and B. Nowack, “Environmental And Health Effects Of Nanomaterials In Nanotextiles And Facade Coatings”. *Environ. Int.*, vol. 37, no. 6, pp. 1131–1142. 2011.
- [42] A. Rashwan, O. Farag, and W. S. Moustafa, “Energy Performance Analysis Of Integrating Building Envelopes With Nanomaterials”. *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 2, no. 2, pp. 209–223, Dec. 2013.
- [43] X. Wang, C. Kendrick, R. Ogden, and J. Maxted, “Dynamic Thermal Simulation Of A Retail Shed With Solar Reflective Coatings”. Vol. 28, pp. 1066–1073. 2008.
- [44] H. Shen, H. Tan, and A. Tzempelikos, “The Effect Of Reflective Coatings On Building Surface Temperatures, Indoor Environment And Energy Consumption — An Experimental Study”. Vol. 43, pp. 573–580. 2011.
- [45] CONALEP “Uso Eficiente De Energía En Fachadas Y Cubiertas”. Pp. 0–52.

- [46] M. a. Hazrat, M. G. Rasul, M. M. K. Khan, a. K. Azad, and M. M. K. Bhuiya, "Utilization Of Polymer Wastes As Transport Fuel Resources- A Recent Development". *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1681–1685, 2014.
- [47] A. Joudi, H. Svedung, M. Cehlin, and M. Rönnelid, "Reflective Coatings For Interior And Exterior Of Buildings And Improving Thermal Performance". *Appl. Energy*, vol. 103, pp. 562–570, Mar. 2013.
- [48] Tesis. Ana Carolina Keiman F., "Propiedades Ópticas De Polímeros Aplicadas A Pinturas Decorativas". Universidad nacional autónoma de México, UNAM. 2011.
- [49] Tesis. Juan Humberto A. de la Cruz "Determinación De Las Propiedades Termo-Físicas De Pinturas Acrílicas Por El Método De Análisis Térmico Diferencial". Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo. UMSNH. 2011.
- [50] W. Guo, X. Qiao, Y. Huang, M. Fang, and X. Han, "Study On Energy Saving Effect Of Heat-Reflective Insulation Coating On Envelopes In The Hot Summer And Cold Winter Zone". *Energy Build.*, vol. 50, pp. 196–203, Jul. 2012.
- [51] A. K. Hussein, "Applications Of Nanotechnology In Renewable Energies — A Comprehensive Overview And Understanding". *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 460–476. 2015.
- [52] K. K. Jena, R. Narayan, and K. V. S. N. Raju, "New High Performance Waterborne Organic–Inorganic Hybrid Materials from UV Curing". *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 10, pp. 1418–1424, Oct. 2013.
- [53] M. Y. Shah and S. Ahmad, "Waterborne Vegetable Oil Epoxy Coatings: Preparation And Characterization". *Prog. Org. Coatings*, vol. 75, no. 3, pp. 248–252, Nov. 2012.
- [54] P. a. J. Donkers, H. P. Huinink, S. J. F. Erich, N. J. W. Reuvers, and O. C. G. Adan, "Water Permeability Of Pigmented Waterborne Coatings". *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 1, pp. 60–69, Jan. 2013.
- [55] O. U. Rahman, M. Kashif, and S. Ahmad, "Nanoferrite Dispersed Waterborne Epoxy-Acrylate: Anticorrosive Nanocomposite Coatings". *Prog. Org. Coatings*, vol. 80, pp. 77–86, Mar. 2015.
- [56] J. S. Nunes, S. J. Bohórquez, M. Meeuwisse, D. Mestach, and J. M. Asua, "Efficient Strategy For Hard Nano-Sphere Usage: Boosting The Performance Of Waterborne Coatings". *Prog. Org. Coatings*, vol. 77, no. 10, pp. 1523–1530, Oct. 2014.
- [57] A. K. Mishra and M. Ramgopal, "Field Studies On Human Thermal Comfort — an Overview". *Build. Environ.*, vol. 64, pp. 94–106, Jun. 2013.
- [58] J. Hu, X. Li, J. Gao, and Q. Zhao, "Ageing Behavior Of Acrylic Polyurethane Varnish Coating In Artificial Weathering Environments". *Prog. Org. Coatings*, vol. 65, no. 4, pp. 504–509, Aug. 2009.
- [59] L. García, J. Merced, R. Alejandro, and D. Aarón, "Prototipo Experimental Para El Envejecimiento Artificial". pp. 395–403, 2013.
- [60] S. Wang and J. Zhang, "Effect Of Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) On Largely Improving Solar Reflectance And Cooling Property Of High Density Polyethylene (HDPE) By Influencing Its Crystallization Behavior". *J. Alloys Compd.*, vol. 617, pp. 163–169, Dec. 2014.
- [61] Tesis. Daniel Orozco Espinosa, "Diseño Y Construcción De Una Cámara De Envejecimiento Acelerado Por Temperatura Para Polímeros". Instituto Politécnico Nacional. IPN. 2007.
- [62] F. Deflorian, S. Rossi, and M. Fedel, "Organic Coatings Degradation : Comparison between Natural and Artificial Weathering". *Corros. Sci.*, Vol. 50, No. 8, Pp. 2360–2366, 2008.
- [63] Tesis. I.Q. Andrés Alberto Guzmán Rosas, "Evaluación De La Resistencia A La Corrosión De Sistemas De Recubrimientos Con Altos Sólidos Por Medio De Espectroscopía De Impedancia Electroquímica". Universidad Nacional De Colombia. 2011.
- [64] Tesis. José Luis Vázquez Gutiérrez, "Empleo De La Técnica De Espectroscopía De Impedancias Electroquímicas Para La Caracterización De Biomateriales. Aplicación A Una Aleación Biomédica De Co-Cr-Mo". Universidad politécnica de valencia," 2007.

- [65] S. K. Arora, R. W. Foley, J. Youtie, P. Shapira, and A. Wiek, “Technological Forecasting & Social Change Drivers Of Technology Adoption — The Case Of Nanomaterials In Building Construction”. *Technol. Forecast. Soc. Chang.*, vol. 87, pp. 232–244. 2014.
- [66] F. Echeverría and J. G. Maya, “Electrochimica Acta New Strategy To Assess The Performance of Organic Coatings During Ultraviolet – Condensation Weathering Tests” vol. 124, pp. 119–127. 2014.
- [67] J. Hu, X. Li, J. Gao, and Q. Zhao, “UV Aging Characterization Of Epoxy Varnish Coated Steel Upon Exposure To Artificial Weathering Environment”. *Mater. Des.*, vol. 30, no. 5, pp. 1542–1547. 2009.
- [68] D. A. Cocuzzi and G. R. Pilcher, “Progress In Organic Coatings Ten-Year Exterior Durability Test Results Compared To Various Accelerated Weathering Devices : Joint Study Between ASTM International And National Coil Coatings Association”. *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 6, pp. 979–984. 2013.
- [69] S. Bhargava, M. Kubota, R. D. Lewis, S. G. Advani, A. K. Prasad, and J. M. Deitzel, “Progress In Organic Coatings Ultraviolet , Water , And Thermal Aging Studies Of A Waterborne Polyurethane Elastomer-Based High Reflectivity Coating”. *Prog. Org. Coatings*, vol. 79, pp. 75–82. 2015.
- [70] J. V Brien and K. C. Mahboub, “International Journal Of Adhesion & Adhesives Influence Of Polymer Type On Adhesion Performance Of A Blended Cement Mortar”. *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 43, pp. 7–13. 2013.
- [71] M. Niknahad, S. Moradian, and S. M. Mirabedini, “The Adhesion Properties And Corrosion Performance Of Differently Pretreated Epoxy Coatings On An Aluminium Alloy”. *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 6, pp. 1948–1957. 2010.
- [72] S. M. Mirabedini and A. Kiamanesh, “Progress In Organic Coatings The Effect Of Micro And Nano-Sized Particles On Mechanical And Adhesion Properties Of A Clear Polyester Powder Coating”. *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 11, pp. 1625–1632. 2013.
- [73] C. Hopkins, P. E. Mchugh, N. P. O. Dowd, Y. Rochev, and J. P. McGarry, “A Combined Computational And Experimental Methodology To Determine The Adhesion Properties Of Stent Polymer Coatings”. *Comput. Mater. Sci.*, vol. 80, pp. 104–112. 2013.
- [74] N. M. M. Ramos, M. L. Simões, J. M. P. Q. Delgado, and V. P. De Freitas, “Reliability Of The Pull-Off Test For In Situ Evaluation Of Adhesion Strength”. *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 86–93. 2012.
- [75] J. F. Coulon, N. Tournerie, and H. Maillard, “Applied Surface Science Adhesion Enhancement of Al Coatings on Carbon/Epoxy Composite Surfaces by Atmospheric Plasma”. *Appl. Surf. Sci.*, vol. 283, pp. 843–850. 2013.
- [76] K. Kim, J. Kang, D. Choi, and K. Kim, “Microelectronic Engineering Characterization Of Adhesion Property Between Fused Silica And Thermoplastic Polymer Film In Thermal Nanoimprint Lithography Using A Novel Pull-Off Test”. *Microelectron. Eng.*, vol. 88, no. 6, pp. 855–860. 2011.
- [77] Y. Huang and J. Wang, “International Journal Of Adhesion & Adhesives Prediction Of Coating Adhesion Loss Due To Stretching”. *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 40, pp. 49–55, 2013.
- [78] CONUEE, PyME, SENER, “Beneficios Del Aislamiento Térmico En La Industria” pp. 1–52, 2009.
- [79] G. Oliveux, L. O. Dandy, and G. a. Leeke, “Current Status Of Recycling Of Fibre Reinforced Polymers: Review Of Technologies, Reuse And Resulting Properties”. *Prog. Mater. Sci.*, vol. 72, pp. 61–99, Mar. 2015.
- [80] Guía. “Soluciones Energéticamente Eficientes En La Edificación”. Madrid España. 2010. <http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/libros-y-guias-tecnicas.php>
- [81] R. Zemann, J. Sacherl, W. Hake, and F. Bleicher, “New Measurement Processes To Define The Quality Of Machined Fibre Reinforced Polymers”. *Procedia Eng.*, vol. 100, pp. 636–645, 2015.
- [82] Cuadernos de rehabilitación, “Propiedades De Aislantes Térmicos Para Rehabilitación Energética”. Instituto valenciano de la edificación, pp. 1-7.
- [83] Tesis. Ciro Limone Torres, “Diseño E Instalación De Aislante Térmico En Tuberías Y Equipos”. Universidad Simón Bolívar. 2012.

- [84] Tesis. Ronald D. Domínguez y Roberto Carlos C. Vergara, “Construcción Del Casco Estructural De Viviendas Con Aislamiento Térmico En Una Obra De Vivienda Masiva”. Universidad católica de Perú. 2013.
- [85] Tesis. Sildia M. Gómez, “Vivienda Bioclimática Con Paneles Modulares De Ferro Cemento Y Materiales Aislantes Alternativos Para La Ciudad De Oaxaca”. Instituto Politécnico Nacional (IPN). 2007.
- [86] Tesis. Carlos Antonio P. Pérez, “Sustentabilidad En La Vivienda En Serie Y Sus Impacto Socio-Económico”. Universidad Autónoma De Nuevo León. 2011.
- [87] Tesis. José Luis Torres, “Climatización Considerando El Ahorro De Energía Y El Confort Térmico De Las Personas En Ambientes Dedicados A Tareas De Oficina”. Universidad Tecnológica Nacional. 2010.
- [88] A. Comite, E. S. Cozza, G. Di Tanna, C. Mandolino, F. Milella, and S. Vicini, “Progress in Organic Coatings Thermal Barrier Coatings Based On Alumina Microparticles”. *Prog. Org. Coatings*, vol. 78, pp. 124–132. 2015.
- [89] R. Arambakam, H. V. Tafreshi, and B. Pourdeyhimi, “International Journal Of Heat And Mass Transfer Dual-Scale 3-D Approach For Modeling Radiative Heat Transfer In Fibrous Insulations”. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 64, pp. 1109–1117. 2013.
- [90] P. Ferkl, R. Pokorný, M. Bobák, and J. Kosek, “Heat Transfer In One-Dimensional Micro- And Nano-Cellular Foams”. *Chem. Eng. Sci.*, vol. 97, pp. 50–58. 2013.
- [91] P. Ferkl, R. Pokorný, and J. Kosek, “International Journal Of Thermal Sciences Multiphase Approach To Coupled Conduction - Radiation Heat Transfer In Reconstructed Polymeric Foams”. *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 83, pp. 68–79. 2014.
- [92] M. T. Alam, A. P. Raghu, M. A. Haque, C. Muratore, and A. A. Voevodin, “International Journal Of Thermal Sciences Structural Size And Temperature Dependence Of Solid To Air Heat Transfer”. *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 73, pp. 1–7. 2013.
- [93] C. Cheng, Z. Han, H. Zhou, and Z. Niu, “Engineering Analysis With Boundary Elements Analysis Of The Temperature Field In Anisotropic Coating-Structures By The Boundary Element Method”. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, pp. 1–8. 2015.
- [94] T. D. Bennett and R. Valdes, “Surface & Coatings Technology Differential Phase Of Photothermal Emission Analysis For Thermal Property Measurement Of Thermal Barrier Coatings”. *Surf. Coat. Technol.*, vol. 261, pp. 102–107. 2015.
- [95] L. Záborský, V. Bur, J. Daniel, P. Sou, P. Va, J. Dugá, P. S, O. Caha, J. Bur, and V. Pe, “Surface & Coatings Technology Comparative Analysis Of Thermal Stability Of Two Different Ne-Tic/A-C : H Coatings”. Vol. 267, pp. 32–39. 2015.
- [96] Libro. Fereydoon Dadkhah and Jack Zecher, “ANSYS Workbench Software”. Delphi Electronics and safety. Indiana university-Purdue university Indianapolis, SDC. 2009.
- [97] M. a. Sellés, S. Sanchez-Caballero, and E. Perez-Bernabeu, “Analysis And Review Of Different Tools To Calculate The Production Economics In Injection Molding”. *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 439–441, 2014.
- [98] Libro. Andreas Momber “Blast Cleaning Technology”. Hamburg Germany. Springer. 2008.
- [99] Libro. Henk. G. Merkus and Gabriel. M. H. Meesters “Particulate Products”. Vol. 19, tailoring properties for optimal performance. Springer, 2014.
- [100] D. C. Webster and R. A. Ryntz, “Pigments, Paints, Polymer Coatings, Lacquers, and Printing Inks”. 2012.
- [101] M. Lisicins, V. Lapkovskis, A. Shishkin, V. Mironovs, and V. Zemcenkovs, “Conversion Of Polymer And Perforated Metallic Residues Into New Value-Added Composite Building Materials”. *Energy Procedia*, vol. 72, pp. 148–155, Jun. 2015.
- [102] Libro. Jonathan W. Martin, Rose A. Ryntz, Joannie Chin, Ray A. Dickie, “Service Life Prediction of Polymeric Materials”. Springer. 2009.

- [103] Libro. Wladyslaw Kowalski, “Ultraviolet Germicidal and Irradiation Handbook”. UVGI for air and surface disinfection. Springer, 2009.
- [104] S. J. Garcia, “Effect Of Polymer Architecture On The Intrinsic Self-Healing Character Of Polymers”. *Eur. Polym. J.*, vol. 53, pp. 118–125, Apr. 2014.
- [105] R. Zhao, G. Shao, Y. Cao, L. An, and C. Xu, “Temperature sensor made of polymer-derived ceramics for high-temperature applications,” *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 219, pp. 58–64, Nov. 2014.
- [106] J. Mills-Brown, K. Potter, S. Foster, and T. Batho, “Thermal And Tensile Properties Of Polysialate Composites”. *Ceram. Int.*, vol. 39, no. 8, pp. 8917–8924, Dec. 2013.
- [107] J. Zhang, “Network Model For The Entangled Polymer Melts: A Review”. *Phys. Procedia*, vol. 3, no. 5, pp. 1775–1780, Aug. 2010.
- [108] C. Kingston, R. Zepp, A. Andradý, D. Boverhof, R. Fehir, D. Hawkins, J. Roberts, P. Sayre, B. Shelton, Y. Sultan, V. Vejins, and W. Wohlleben, “Release Characteristics Of Selected Carbon Nanotube Polymer Composites”. *Carbon N. Y.*, vol. 68, pp. 33–57, Mar. 2014.
- [109] G. a. Kashwani and A. K. Al-Tamimi, “Evaluation Of FRP Bars Performance Under High Temperature”. *Phys. Procedia*, vol. 55, pp. 296–300, 2014.
- [110] B. Du, S. S. Zhou, and N. L. Li, “Research Progress Of Coloring Aluminum Pigments By Corrosion Protection Method”. *Procedia Environ. Sci.*, vol. 10, no. Esiat, pp. 807–813, 2011.
- [111] P. Benda and a. Kalendová, “Anticorrosion Properties Of Pigments Based On Ferrite Coated Zinc Particles”. *Phys. Procedia*, vol. 44, pp. 185–194, 2013.
- [112] Tesis. Ana Laura Correa Borroel, “Desarrollo De Materiales Anticorrosivos A Base De Polímeros Conductores Y Capas Autoensambladas”. Universidad Autónoma De Madrid. 2010.
- [113] W. El-Malky and K. M. Abdelaziz, “The effect of pre-curing waiting time of different bonding resins on micro-tensile bond strength to dentin”. *Tanta Dent. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 99–110, Jun. 2015.
- [114] A. R. Burkanudeen, M. a. Riswan Ahamed, R. S. Azarudeen, M. Shabana Begum, and W. B. Gurnule, “Thermal Degradation Kinetics And Antimicrobial Studies Of Terpolymer Resins”. *Arab. J. Chem.*, Apr. 2011.
- [115] P. Threepopnatkul, C. Wongnarat, W. Intolo, S. Suato, and C. Kulsetthanchalee, “Effect Of Tio2 And Zno On Thin Film Properties Of PET/PBS Blend For Food Packaging Applications”. *Energy Procedia*, vol. 56, pp. 102–111, 2014.
- [117] H. Kukackova, A. Vraštilová, and A. Kalendova, “Non-Toxic Anticorrosive Pigments Intended For Applications In High-Solids And Waterborne Paints”. *Phys. Procedia*, vol. 44, pp. 238–246, 2013.
- [118] T. Ming, R. de Richter, W. Liu, and S. Caillol, “Fighting Global Warming By Climate Engineering: Is The Earth Radiation Management And The Solar Radiation Management Any Option For Fighting Climate Change?”. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 792–834, Mar. 2014.
- [119] H. Gleiter, “N A N O C R Y S T A L L I N E MATERIALS,” vol. 33, pp. 223–315, 1990.
- [120] J. R. Potts, D. R. Dreyer, C. W. Bielawski, and R. S. Ruoff, “Graphene-Based Polymer Nanocomposites”. *Polymer (Guildf.)*, vol. 52, no. 1, pp. 5–25, Jan. 2011.
- [121] M. Noorkami, J. B. Robinson, Q. Meyer, O. a. Obeisun, E. S. Fraga, T. Reisch, P. R. Shearing, and D. J. L. Brett, “Effect Of Temperature Uncertainty On Polymer Electrolyte Fuel Cell Performance”. *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 3, pp. 1439–1448, Jan. 2014.
- [122] A. L. Pisello, F. Cotana, and L. Brinchi, “On A Cool Coating For Roof Clay Tiles: Development Of The Prototype And Thermal-Energy Assessment”. *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 453–462, 2014.
- [123] M. Fitra, I. Daut, M. Irwanto, N. Gomesh, and Y. M. Irwan, “Effect Of Tio2 Thickness Dye Solar Cell On Charge Generation”. *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 278–286, 2013.

- [124] D.-A. Şerban, L. Marşavina, and N. Modler, "Finite Element Modelling Of The Progressive Damage And Failure Of Thermoplastic Polymers In Puncture Impact". *Procedia Eng.*, vol. 109, pp. 97–104, 2015.
- [125] F. Liu, E.-H. Han, and W. Ke, "Adsorption And Stabilization Of Nano-Tio<sub>2</sub> Particles In A Concentrated Dispersion". *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 23, no. 5, pp. 464–468, Oct. 2013.
- [126] H. Bai, X. Wang, Y. Zhou, and L. Zhang, "Preparation and characterization of poly(vinylidene fluoride) composite membranes blended with nano-crystalline cellulose". *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 22, no. 3, pp. 250–257, Jun. 2012.
- [127] M. Abbasipour and M. K. Mehrizi, "Sharif University Of Technology Investigation Of Changes Of Reflective Behavior Of Cotton / Polyester Fabric By Tio<sub>2</sub> And Carbon Black Nanoparticles". *Sci. Iran.*, vol. 19, no. 3, pp. 954–957, 2012.
- [128] T. Thongkanluang, N. Chirakanphaisarn, and P. Limsuwan, "Preparation Of NIR Reflective Brown Pigment". *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 895–901, 2012.
- [129] O. Ersen, I. Florea, C. Hirlimann, and C. Pham-Huu, "Exploring Nanomaterials With 3D Electron Microscopy". *Mater. Today*, vol. 00, no. 00, Apr. 2015.
- [130] L. Yildirimer, N. T. K. Thanh, M. Loizidou, and A. M. Seifalian, "Toxicology And Clinical Potential Of Nanoparticles". *Nano Today*, vol. 6, no. 6, pp. 585–607, Dec. 2011.
- [131] S. Bhargava, R. D. Lewis, M. Kubota, X. Li, S. G. Advani, J. M. Deitzel, and a. K. Prasad, "Adhesion Study Of High Reflectivity Water-Based Coatings". *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 40, pp. 120–128, Jan. 2013.
- [132] T. Tolaymat, A. El Badawy, R. Sequeira, and A. Genaidy, "An Integrated Science-Based Methodology To Assess Potential Risks And Implications Of Engineered Nanomaterials". *J. Hazard.*, vol. 298, pp. 270–281, Apr. 2015.
- [133] Y. Gogotsi and B. J. M. Etzold, "Carbon-based solids and materials". *Carbon N. Y.*, vol. 49, no. 15, pp. 5398–5399, Dec. 2011.
- [134] G. C. Delgado, "Economics And Governance Of Nanomaterials: Potential And Risks". *Technol. Soc.*, vol. 32, no. 2, pp. 137–144, May 2010.
- [135] Y. Lu and S. Ozcan, "Green Nanomaterials: On Track For A Sustainable Future". *NanoToday*, pp. 1–4, May 2015.
- [136] I. D. F. a. Mariz, I. S. Millichamp, J. C. de la Cal, and J. R. Leiza, "High Performance Water-Borne Paints With High Volume Solids Based On Bimodal Latexes". *Prog. Org. Coatings*, vol. 68, no. 3, pp. 225–233, Jul. 2010.
- [137] M. Kwiat, S. Cohen, A. Pevzner, and F. Patolsky, "Large-Scale Ordered 1D-Nanomaterials Arrays: Assembly Or Not?". *Nano Today*, vol. 8, no. 6, pp. 677–694, Dec. 2013.
- [138] P. Ramesh and K. Gurunathan, "Nanomaterials Communication Inside The Living Organism". *Nano Commun. Netw.*, vol. 3, no. 4, pp. 252–256, Dec. 2012.
- [139] M. G. Lines, "Nanomaterials For Practical Functional Uses". *J. Alloys Compd.*, vol. 449, pp. 242–245, Jan. 2008.
- [140] A. M. R. From and S. I. D. Harris, "Focus On A Monthly Report From Powder". February, 2008.
- [141] a. Groso, a. Magrez, and T. Meyer, "Safety Management Of Nanomaterials". *Procedia Eng.*, vol. 42, no. August, pp. 1587–1596, 2012.
- [142] M. D. Hager, S. Bode, C. Weber, and U. S. Schubert, "Shape Memory Polymers: Past, Present And Future Developments". *Prog. Polym. Sci.*, Apr. 2015.
- [143] N. S. Allen, M. J. Parker, and C. J. Regan, "The Durability Of Water-Borne". Vol. 3910, no. 94, 1994.
- [144] Y. Cui, P. Huang, F. Wang, T. J. Lu, and K. W. Xu, "The Hardness And Related Deformation Mechanisms In Nanoscale Crystalline–Amorphous Multilayers". *Thin Solid Films*, vol. 584, pp. 270–276, Jun. 2015.
- [145] J. Li, X. Chang, X. Chen, Z. Gu, F. Zhao, Z. Chai, and Y. Zhao, "Toxicity Of Inorganic Nanomaterials In Biomedical Imaging". *Biotechnol. Adv.*, vol. 32, no. 4, pp. 727–43, 2014.

- [146] A. Elsaesser and C. V. Howard, "Toxicology Of Nanoparticles". *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 64, no. 2, pp. 129–37, Feb. 2012.
- [147] S. Bhargava, M. Kubota, R. D. Lewis, S. G. Advani, a. K. Prasad, and J. M. Deitzel, "Ultraviolet, Water, And Thermal Aging Studies Of A Waterborne Polyurethane Elastomer-Based High Reflectivity Coating". *Prog. Org. Coatings*, vol. 79, pp. 75–82, Feb. 2015.
- [148] M. Santamouris, "Cooling The Cities – A Review Of Reflective And Green Roof Mitigation Technologies To Fight Heat Island And Improve Comfort In Urban Environments". *Sol. Energy*, vol. 103, pp. 682–703, May 2014.
- [149] K. L. Uemoto, N. M. N. Sato, and V. M. John, "Estimating Thermal Performance Of Cool Colored Paints". vol. 42, pp. 17–22, 2010.
- [150] E. S. Cozza, M. Alloisio, A. Comite, G. Di Tanna, and S. Vicini, "Sciencedirect NIR-Reflecting Properties Of New Paints For Energy-Efficient Buildings". *Sol. Energy*, vol. 116, pp. 108–116, 2015.
- [151] D. Dias, J. Machado, V. Leal, and A. Mendes, "Impact Of Using Cool Paints On Energy Demand And Thermal Comfort Of A Residential Building". *Appl. Therm. Eng.*, vol. 65, no. 1–2, pp. 273–281, Apr. 2014.
- [152] M. Zinzi, "Characterisation And Assessment Of Near Infrared Reflective Paintings For Building Facade Applications". *Energy Build.*, Jun. 2015.
- [153] Z. Xing, S.-W. Tay, Y. Liu, and L. Hong, "Solar Heat Reflective Coating Consisting Of Hierarchically Assembled Polystyrene nanoparticles". *Surf. Coatings Technol.*, vol. 265, pp. 99–105, Mar. 2015.
- [154] J. Kim, C. Lee, Y. J. Suh, H. Chang, K.-M. Roh, and H. D. Jang, "Synthesis And Characterization Of Highly Reflective Hollow Silica Particles". *Mater. Res. Bull.*, vol. 70, pp. 184–189, Oct. 2015.
- [155] S. Bhargava, M. Kubota, R. D. Lewis, S. G. Advani, a. K. Prasad, and J. M. Deitzel, "Ultraviolet, Water, And Thermal Aging Studies Of A Waterborne Polyurethane Elastomer-Based High Reflectivity Coating". *Prog. Org. Coatings*, vol. 79, pp. 75–82, Feb. 2015.
- [156] A. Kozak, "Multi-Criteria Assessment Of An Acrylic Coating Exposed To Natural And Artificial Weathering". *Procedia Eng.*, vol. 108, pp. 664–672, 2015.
- [157] Y.-H. Huang and J. Wang, "Prediction Of Coating Adhesion Loss Due To Stretching". *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 40, pp. 49–55, Jan. 2013.
- [158] Starostina IA, Stoyanov OV, Bogdanova SA, Deberdeev RJa, Kurnosov VV, Zaikov GE, "Studies on the surface properties and the adhesion to metal of polyethylene coatings modified with primary aromatic amines". *J Appl Polym Sci* 2001;79:388–97.
- [159] Yan FY, Gross KA, Simon GP, Berndt CC, "Peel-strength behavior of bilayer thermal-sprayed polymer coatings". *J Appl Polym Sci* 2003;88:214–26.