



FACULTAD DE QUÍMICA Y DE FARMACIA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Departamento de Química Inorgánica

Archroma Chile Limitada

**DISPERSIONES POLIMÉRICAS ACUOSAS, PRESENTES COMO
SOLUCIÓN TÉCNICA PARA LAS IMPERMEABILIZACIONES
REQUERIDAS EN LA ACTUALIDAD Y EN EL FUTURO**

SCARLETH VICTORIA CARREÑO REVECO

**Tesis para optar al Título de Químico y al
Grado Académico de Licenciada en
Química**

Directora : QCO. JACQUELINE CARO BRITO.

Patrocinante : DRA. ADY GIORDANO VILLATORO.

**Comité de tesis : Q.F. ESTEBAN CASTILLO VALDERRAMA.
DRA. FRANCISCA NOVOA RAMÍREZ.**

Santiago, Agosto de 2019.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la empresa Archroma Chile Ltda, por esta oportunidad de aprender y crecer de manera académica y profesional.

Este proyecto de profundización profesional es en gran medida gracias a mis grandes maestras en todo este camino dentro de la empresa, Francisca Nova, Ana María Carvajal y Jacqueline Caro, gracias por soportarme, alentarme y presionarme para hacer esto posible.

No olvido a mi madre, mi más grande talante para siempre seguir adelante en todo mi proceso académico.

Finalmente, a mis más grandes amigos, Felipe y Antonieta, por siempre brindarme su apoyo incondicional.

Lista de abreviaciones

Tg	Temperatura de transición vítrea.
CMC	Concentración micelar crítica.
TMFF	Temperatura de formación de film.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I.....	10
Introducción.....	12
1. Antecedentes.	12
1.2. Tipos de humedad.	14
1.2.1. Humedad de lluvia.	14
1.2.2. Humedad del suelo.	15
1.2.3. Humedad de construcción.	15
1.2.4. Humedad por condensación.	16
1.2.5. Humedad accidental.	16
1.3. Manejo de la humedad.....	17
1.4. Impermeabilizantes. (<i>water proofing coatings</i>).....	17
1.4.1 Componentes del impermeabilizante	19
1.4.1.1 Mecanismo de preparación de la emulsión.....	25
1.4.2 Formación de la película polimérica.....	26
1.4.3 Propiedades requeridas al recubrimiento.....	28
Capítulo II.....	30
Hipótesis	30
Capítulo III.....	31
Objetivos	31
3.1 Objetivo general	31
3.2 Objetivos Específicos.....	31
Capítulo IV.....	32
Metodología.....	32
4.1 Caracterización fisicoquímica de las emulsiones.....	32
4.1.1 Determinación de pH	32
4.1.2 Determinación de viscosidad	32
4.1.3 Determinación de contenido de sólidos	33
4.1.4 Determinación de temperatura mínima de formación de película.	33
4.2 Determinación de las propiedades fisicoquímica de las emulsiones.....	33
4.2.1 Preparación de películas secas de la resina pura.....	33

4.2.3 Determinación de la resistencia a la alcalinidad de resinas polimérica.....	34
4.2.4 Determinación de absorción de agua por inmersión de películas secas...	34
4.2.5 Resistencia y elongación de películas secas.	34
4.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas de membranas impermeabilizantes. Preparación de películas con fórmula orientativa.....	35
4.3.1 Preparación de fórmula orientativa membrana A-33% solido polímero	35
4.3.2 Preparación de fórmula orientativa membrana B- 20% solido polímero ...	35
4.3.3 Caracterización fisicoquímicas de las membranas A y B.....	36
4.3.4 Preparación de las películas secas membranas A y B respectivamente. .	36
4.3.4.1 Porcentaje de elongación de películas secas a baja temperatura.	36
4.3.4.2 Determinación de absorción de agua a través de probetas Karsten.....	37
4.3.4.3 Determinación de absorción de agua por esponja saturada.....	37
4.3.4.4 Determinación de permeabilidad al vapor.....	37
Capítulo V.....	39
Resultados y discusión.....	39
5.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica de las emulsiones.	39
5.1.1 Determinación de pH, contenido de sólidos y temperatura mínima de formación.	39
5.2 Preparación de películas secas de la resina pura.....	41
5.2.1 Determinación de la estabilidad a la alcalinidad de resinas polimérica.....	42
5.2.2 Determinación de absorción de agua por inmersión.....	44
5.2.3 Porcentaje de elongación de películas secas.	47
5.3 Resultados de la caracterización fisicoquímica de las Membranas.	49
5.4 Determinación de la absorción de agua por inmersión en las membranas poliméricas.....	51
5.5 Porcentajes de elongación de películas secas de las membranas.	54
5.5.1 Porcentaje de elongación de películas secas de la membrana A.	54
5.5.2 Porcentaje de elongación de películas secas de la membrana B.	59
5.5.3 Porcentaje de elongación comparativos para las diferentes temperaturas entre las membranas A y B.	60
5.6 Absorción de agua a través de probetas Karsten.	62
5.7 Absorción de agua mediante esponja saturada.	65
5.8 Permeabilidad al vapor.	68
Capítulo VI.....	72

Conclusiones	72
Capítulo VII.....	74
Bibliografía	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Tabla comparativa entre recubrimientos elásticos y pinturas convencionales.....	19
Tabla N°2: Tabla de emulsiones con su respectiva clasificación de base química	32
Tabla N°3: Tabla de reactivos y cantidades para preparación de membranas con receta A.....	35
Tabla N°4: Tabla de reactivos y cantidades para preparación de membranas con receta B.....	36
Tabla N°5: Tabla de resultados del contenido de sólidos, viscosidad, TMFF y pH para cada una de las emulsiones estudiadas.....	40
Tabla N°6: Tabla de resultados para las características fisicoquímicas de las membranas con receta A.....	50
Tabla N°7: Tabla de resultados para las características fisicoquímicas de las membranas con receta B.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Humedad del suelo producto de la capilaridad.....	15
Figura N°2: Diagrama conceptual de los componentes un impermeabilizante.....	20
Figura N°3: Estructura química del monómero estireno.....	22
Figura N°4: Estructura química del monómero acrilato de butilo.....	22
Figura N°5: Estructura química del monómero Acrilato de butilo.....	23
Figura N°6: Estructura química del monómero Metil metacrilato.....	23
Figura N°7: Estructura química del monómero acetato de vinilo (VAM).....	24
Figura N°8: Estructura química del monómero Veova 10	25
Figura N°9: Estructura química del monómero de un poliuretano.....	25
Figura N°10: Proceso de polimerización dentro de una micela.....	26
Figura N°11: Proceso de formación de la película de recubrimiento.....	27
Figura N°12: Índice de saponificación versus emulsión.....	43
Figura N°13: Reacción de saponificación de polímeros vinílicos.....	44
FiguraN°14: Absorción de agua por inmersión versus emulsión.....	45
Figura N°15: Porcentaje de elongación versus emulsión.....	48
Figura N°16: Porcentaje de elongación a la ruptura versus espesor del film.....	49
Figura N°17: Absorción de agua por inmersión para la primera y segunda inmersión de cada una de las Membranas con receta A.....	52
Figura N°18: Absorción de agua por inmersión versus emulsión	52
Figura N°19: Gota cuasi-esférica.....	53
Figura N°20: Efecto Umbrella sobre los grupos acetatos por los grupos de éster vinílicos del veova 10.....	54
Figura N°21: Porcentaje de elongación versus temperatura.....	56
FiguraN°22: Porcentaje de elongación versus emulsión.....	58
Figura N°23: Gráfico Tg y TFFM versus composición del copolímero	59
Figura N°24: Porcentaje de elongación versus emulsión.....	60

Figura N°25: Porcentajes de elongación versus emulsión.....	61
Figura N°26: Porcentaje de elongación comparativo versus emulsión.....	61
Figura N°27: Fenómeno de adhesión y cohesión de las moléculas de agua.....	63
Figura N°28: Absorción por capilaridad mediante probetas Karsten versus emulsión	64
Figura N°29: Absorción por capilaridad mediante probetas Karsten versus emulsión	64
Figura N°30: Absorción de agua mediante esponja saturada versus emulsión	66
Figura N°31: Absorción de agua mediante esponja saturada versus emulsión.....	67
Figura N°32: Estructura química del alquielfenol etoxilado.....	67
Figura N°33: Gramos de agua perdidos por metro cuadrado por cada 24 h versus emulsión.....	70
Figura N°34: Gramos de agua perdidos por metro cuadrado por cada 24 h versus emulsión.....	70

RESUMEN

Las dispersiones poliméricas acuosas se presentan como la solución técnica para las impermeabilizaciones dentro del mundo de la construcción. Actualmente se usa en gran medida las emulsiones con base química poliuretánicas, las cuales son la competencia de las emulsiones de base química estireno acrílicas y vinil-veova - acrílicas, desarrolladas por la empresa Archroma Chile Ltda. Debido a que estas presentan una ventaja económica y ambiental al ser solubles en agua. En el proyecto de profundización profesional se centra precisamente en estudiar los beneficios y ventajas de ellas.

Para esto se utilizan métodos requeridos por el mercado para impermeabilizantes que formen una membrana polimérica sobre un determinado sustrato, los cuales presentan una elevada resistencia a la saponificación, en especial para sustratos alcalinos, tales como el hormigón.

Una baja absorción de agua es otro de los parámetros esenciales en un producto impermeabilizante, debido a que una elevada absorción de agua causa problemas de humedad en los inmuebles; y un elevado porcentaje de elongación, indica una impermeabilizante resiste a esfuerzos mecánicos, tales como cambios bruscos de temperatura y movimientos telúricos, esto es un aspecto fundamental en Chile, debida a geografía, que lo cataloga como país sísmico.

Como último parámetro en estudio, la permeabilidad al vapor. La humedad por condensación es un fenómeno frecuente en muchos inmuebles, siendo la principal responsable de la aparición de moho en las paredes interiores de las estructuras inmobiliarias. Por ejemplo, en épocas de invierno las casas utilizan calefacción y en la mayoría no existe un correcto sistema de ventilación, trasladando el punto de rocío a las ventanas, lo cual disminuye la humedad relativa, ya que al aire caliente absorbe más humedad que el frío. Por lo mencionado anteriormente encontrar materiales con permeabilidad al vapor es uno de los desafíos de la industria.

Abstract

Aqueous polymer dispersions are presented as the technical solution for waterproofing within the world of construction. In the present, polyurethane chemical-based emulsions are widely used, which are the competence of acrylic-based styrene and vinyl-veova-acrylic emulsions, developed by the company Archroma Chile Ltda; because they have an economic advantage and environmental to be soluble in water. This professional deepening project focuses precisely on studying the benefits and advantages of those.

Market-required methods are used for waterproofing materials that form a polymeric membrane on a specific substrate, the must to have a good resistance to saponification, especially for alkaline substrates, as concrete.

the low water absorption of water, it's an essential parameter in a waterproofing product, because a high-water absorption causes moisture problems; and a high percentage elongation value indicates a waterproofing resists mechanical stress, such as sudden temperature changes and telluric movements, this is a fundamental aspect in Chile, due to geography, which lists it as a seismic country.

The last parameter in study, vapor permeability. Moisture by condensation is a frequent phenomenon in many buildings, being the main responsible for the appearance of mold on the interior walls of real estate structures. For example, in winter season the houses use heating, and most of them, doesn't have a proper ventilation system, transferring the dew point to the windows, which decreases the relative humidity, since the hot air absorbs more moisture than the cold. For the, finding materials with vapor permeability is one of the industry's challenges.

Capítulo I

Introducción

1. Antecedentes.

A nivel mundial la impermeabilización es uno de los ejes más importante de la construcción. La humedad estructural es la principal problemática de los edificios y viviendas, causando deficiencias en la construcción, tales como: pérdida de solidez en los muros de carga y afectando la seguridad de sus moradores, problemas menores de humedad, también causan consecuencias debido a que merman la calidad de vida de las personas dentro del inmueble.^[1]

Una impermeabilización deficiente afecta revestimientos exteriores e interiores. Ejemplo de ellos son los desperfectos que ocurren en los muros, los cuales presentan grietas, goteras, inundaciones, manchas de humedad, mohos, bacterias, malos olores, producto de ello la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2011, presento un informe, el cual asegura que más de 100.000 personas mueren cada año en Europa por habitar en viviendas no acondicionadas adecuadamente. Se destaca a la humedad entre los factores de riesgo más sustanciales asociados a la vivienda, junto al ruido, la calidad interior del aire, el frío y la seguridad en las casas. [1]

Con el único fin de tener una idea de la importancia de la reparación de inmuebles en el mundo, debido a los factores de riesgo nombrados anteriormente, podemos mencionar ejemplo de países como, España, donde el total de la reparación en la construcción es del 23%, una cifra todavía lejana a los porcentajes que se dan en países como Italia, que supera el 45%, Francia, Gran Bretaña y Holanda, que se mueven entre el 40% y el 45%. Por su parte los países nórdicos están entre el 30% y 40%. [2]

En Chile en el año 2007 una nueva reglamentación térmica (RT) estableció condiciones mínimas de acondicionamiento térmico para las protecciones térmicas de viviendas, complementando así las disposiciones de acondicionamiento térmico de techumbres que dispone la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en su artículo 4.1.10, desde el año 2007, todo ello enmarcado en el programa del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), en conjunto con el Ministerio de Energía, trabajaron en el sistema de calificación energética de viviendas en Chile, siendo Chile el primer país de Latinoamérica en incorporar a reglamentación de construcciones exigiendo un acondicionamiento térmico para

todo tipo de viviendas. Sin embargo, en el país no existe una normativa dentro de la OGUC que exija la impermeabilización, ni tampoco cifras exactas de cuánto es la cantidad de reparaciones que existe por problemas de humedad; solo se exige que se impermeabilice desde el inicio de la construcción. Lamentablemente existe un vacío legal de las normativas y sanciones, en tema de construcción, esto ha generado casos emblemáticos, como el sucedido con la inmobiliaria Brotec-Icafal, casas con valores superiores las 5000 UF, en el proceso de post venta, 21 familias informaron graves problemas de impermeabilización, los cuales fueron reparadas en varias ocasiones pero no solucionados, lo que generó que los propietarios abandonaran sus viviendas y demandaran a la inmobiliaria, en la actualidad aún no hay solución para esas familias. [3-5]

Actualmente, en Chile se encuentra la Asociación Chilena de Impermeabilizadores (ASIMP), primera organización gremial de Impermeabilizadores, cuyos objetivos son el promover, racionalizar, proteger y profesionalizar las actividades de impermeabilización en nuestro territorio. La organización tiene un manual básico de sistemas de impermeabilización, que brinda una base mínima de calidad, de tal forma que regule tanto a los sistemas y materiales como a su instalación y también generar norma. Como primer paso es necesario clasificar el desempeño, diferencias y similitudes entre los distintos productos que ofrece el mercado. En este trabajo se comparan impermeabilizantes de tipo película polimérica con distintas naturalezas químicas, de tal manera de clasificar según precio/calidad, la opción más apropiada para ser utilizados. Esto contribuye a marcar un precedente elemental para avanzar de manera gradual hacía en un futuro tener leyes y normas que resguarden un correcto uso y aplicación de estos materiales. [6]

1.1. Humedad y sus efectos.

El concepto de humedad se entiende como agua líquida, que está presente en la superficie o interior de un cuerpo, la cual se presenta de varias formas, deteriorando terminaciones y características funcionales de los materiales constituyentes de la edificación. Existen diferentes tipos de humedad que obedece a distintos fenómenos. [1]

La humedad causa daños estructurales en las viviendas que resultan en el deterioro del inmueble, disminuyendo su vida útil y consecuentemente afectando la calidad de vida de sus moradores debido a los siguientes puntos: [1]

- Aumenta la conductividad térmica de los materiales.
- Produce mayores gastos de energía de calefacción.
- Daña materiales orgánicos, entre otros.

Adicionalmente perjudica la eficiencia energética, puesto que se usa de manera menos eficiente los sistemas de calefacción. [1]

Por otra parte, los materiales de construcción, expuestos a una impermeabilización deficiente, son dañados de manera transversal. Específicamente materiales hidráulicos, formados por hormigones, estucos y yesos, debido a la porosidad y elementos que los componen, son susceptibles a absorber el agua mediante capilaridad. Materiales pétreos y otros varios, son en general de alta densidad y usados principalmente para evitar que los materiales hidráulicos padezcan humedad. [3,7-9]

1.2. Tipos de humedad.

1.2.1. Humedad de lluvia.

La humedad ataca los muros exteriores y techumbres en zonas donde llueve con viento, afectando el caparazón de la vivienda; es común que se manifieste en juntas constructivas de diferentes elementos por medio de manchas y otros daños en el acabado exterior. [1]

Esta humedad depende en gran medida al tipo de clima presente en el área donde se ubica la construcción, ejemplo de ello, las precipitaciones, ya sea en forma de lluvia, granizo o nieve, se ven ayudadas por el viento. Este último hace que la humedad penetre en mayor medida por los poros de los materiales, generando efectos perniciosos asociados a la humedad (eflorescencias, descascaramientos, mohos, hongos, entre otros daños). En el caso de Chile, existen muchos lugares donde llueve con ráfagas de viento, es por lo mismo que se debe tener cuidado especial en aquellas viviendas que tengan techos con poca pendiente y que no presenten puertas o ventanas bien ajustadas. [10]

1.2.2. Humedad del suelo.

Se ocasiona cuando la humedad del suelo es absorbida por los elementos que están en contacto con él, producto de la capilaridad de los materiales y es causada por errores en la impermeabilización bajo las fundaciones, en el caso de viviendas y además en muros contra terreno (muros de subterráneos) en el caso de edificios. [1]

La mayoría de los tipos de suelos poseen alguna cantidad de agua, que produce humedad en los materiales producto de la capilaridad. Es por ello por lo que siempre este tipo de humedad debe ser considerada. Un defectuoso sistema de drenaje, deficiente evacuación de aguas lluvias (cerca de los cimientos) y riego de jardines muy cerca de los muros, son causas comunes de exceso de humedad en el suelo alrededor a los cimientos. (Figura N°1). [1,5]



Figura N°1: Humedad del suelo producto de la capilaridad. [1]

1.2.3. Humedad de construcción.

Es causada por el agua utilizada en procesos constructivos y que aún no ha sido evaporada, quedando esta retenida al interior de los elementos constructivos, ejemplo de ello en la preparación del cemento, también dependiendo del clima en donde se construya, este tipo de humedad demorará más o menos en evaporarse y en caso de no completarse la evaporación antes de comenzar con las terminaciones aparecerán eflorescencias y desconches, entre otros daños. Los materiales de sistemas constructivos en seco, bien utilizados, y el correcto secado de los materiales que en su utilización incorporan agua a la obra gruesa previenen la presencia de humedad por construcción. Por ello el secado de la obra gruesa es de vital importancia y se puede realizar en forma natural o artificial. [1]

1.2.4. Humedad por condensación.

El fenómeno de condensación es el cual el vapor de agua (estado gaseoso) contenido en la atmósfera al enfriarse se transforma en agua líquida. [1]

En este proceso se relaciona los conceptos de humedad absoluta, relativa y punto de rocío. [1,6]

Humedad absoluta: Es la cantidad de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire en un cierto ambiente, se expresa en $\frac{g}{m^3}$ de aire seco. Cuando el aire ya no puede admitir más vapor de agua a una determinada temperatura, se dice que está saturado.

Humedad relativa: A la relación porcentual entre la humedad absoluta y la saturada.

Punto de rocío: Si se tiene una cierta cantidad de vapor de agua en el ambiente a una cierta temperatura, el punto viene a ser aquella temperatura máxima a la cual el ambiente se satura de vapor de agua, por lo tanto, mientras la temperatura del aire se mantenga por sobre la de rocío no habrá condensación, no obstante, si la temperatura del aire baja, habrá condensación.

Este tipo de humedad por condensación se produce cuando la temperatura de algún elemento (pared, pilar, vidrio, etc.) es inferior al punto de rocío del ambiente. Por lo común este fenómeno se produce en invierno y se aprecia en superficies frías, tales como cristales y metales. Este fenómeno no sólo depende de la temperatura, sino también de la presión de vapor de agua, así cuando la temperatura baja o la presión de vapor aumenta, de esta forma la posibilidad de que se produzca condensación es mayor. [1]

1.2.5. Humedad accidental.

Es provocada por alguna situación inesperada, accidental e imprevista como la rotura de cañerías, defectos de diseño, construcción o falta de mantención. El descuido de las personas, como fregar pisos con excesos de agua, también se considera como humedad accidental. De manera general son todas aquellas humedades que no se pueden clasificar en alguno de los otros cuatro tipos.[1]

1.3. Manejo de la humedad.

La barrera de humedad en un material tiene por fin detener el paso del agua líquida hacia el elemento constructivo. Debe ir por el exterior de los muros para así proteger a la construcción de humedades exteriores, como la lluvia. Para este fin se han implementado una serie de mecanismos que ayudan a proteger y optimizar la durabilidad de los materiales, todas estas maneras se reúnen en un proceso llamado impermeabilización, que consiste en un recubrimiento que se adhiere al sustrato a proteger de la absorción de agua, en el mercado suelen llamarse con el nombre comercial de pinturas impermeabilizantes, las cuales tienen una función protectora, decorativa, y también funciones de protección ultravioleta o biocida, u otras que exija el mercado actual. [3,7]

Los principales tipos de pintura que funcionan como barrera de humedad son: [1,10-12]

- Impermeabilizantes incoloro: Se aplica después de la pintura.
- Impermeabilizante con color: Se aplica antes de la pintura o se puede dejar como color de muro.
- Hidrorrepelentes: Se aplica después de la pintura, es absorbido completamente por el muro, lo que permite que el aspecto natural de la superficie no sea alterado.
- Bloqueadores de humedad: Se aplica antes de la pintura. Es una capa densa y pastosa ideal para superficies porosas.

1.4. Impermeabilizantes. (*water proofing coatings*)

Desde los años 70 se comienza a trabajar en productos con resinas en emulsión en agua como ligantes para diseñar revestimientos de superficies expuestas a la humedad, con características de impermeabilidad y resistencia al agua en estanqueidad. Se consideraron los requisitos que se especificaban para los productos en base solvente, pero con las limitaciones de las propiedades de las distintas resinas como punto de partida, posteriormente en los años 90 aparecen las primeras membranas fabricadas de polietileno, desde ese momento hasta la

actualidad se han desarrollado un gran número de distintos impermeabilizantes. Sin embargo, esto no ha sido suficiente para ser una solución eficiente y ecológica, por ende, se ha insistido en seguir considerando las ventajas de los productos base al agua por su inocuidad y química verde. [13]

La temperatura de transición vítrea (T_g), se define como la temperatura a la cual se ablanda el polímero, en otros términos, se entiende como la temperatura en la cual un material polimérico pierde sus características que lo hacen similares a la goma y pasa a un estado similar de vidrio. A esta temperatura se pierde la flexibilidad rotacional de los enlace carbono-carbono en la cadena de la macromolécula y la movilidad segmental independiente, transformándose en un material rígido, es por ello que la T_g se relaciona claramente con la elasticidad, a mayor T_g , más duro, de este modo se busca en los impermeabilizantes con enfoque en las construcciones sometidas a esfuerzos tectónicos, tales como sismos, o variación drástica de la temperatura del sustrato, puedan ser blandos para que no ocurra una fisura que anule su función. De esta manera se explica el motivo de no uso de polímeros de alta T_g , debido a que se obtiene films rígidos y por ello en este documento se trabajó con lo que presentan una baja T_g , para obtener buenos porcentajes de elongación a grandes variaciones de temperatura. [13,14]

El desarrollo de productos para protección de superficies horizontales, techos terrazas, balcones, comienza con el uso de polímeros acrílicos, éstos son obtenidos por la combinación de los monómeros derivados de ácido acrílico, entre otros, éstos son considerados monómeros blandos por el valor de su temperatura de transición vítrea (T_g), con ello se obtienen distintas propiedades como por ejemplo baja absorción de agua y films elásticos.[13]

Este desarrollo tecnológico ha permitido el uso de resinas en emulsión, las cuales se ocupan para la creación de recubrimientos elásticos en reemplazo de una pintura decorativa convencional, ya que otorgan propiedades de impermeabilidad.[13]

En la siguiente tabla se presentan las diferencias entre tipos de pintura:[13]

Tabla N°1: Tabla comparativa entre recubrimientos elásticos y pinturas convencionales.

Propiedad	Recubrimiento elástico	Pintura convencional
Espesor de film seco (μ)	250-450	50-75
% sólidos en volumen	30-40	20-30
Rendimiento (m^2 / L)	0.8-1.2	8-12
Tg del polímero ($^{\circ}C$)	-40 a 0	+5 a +30

Una de las diferencias más significativa es el espesor del film. A mayor volumen de espesor, mejora la protección de éste. Por otro lado, el rendimiento también es diferente debido a que, al ser más denso por mayor cantidad de sólidos, es más espeso y difícil de distribuir a lo largo del material.

1.4.1 Componentes del impermeabilizante

El impermeabilizante se puede tratar también como pintura plástica, la cual es una dispersión en medio acuoso, de partículas aglutinadas mediante un determinado ligante y estabilizadas de forma conveniente, que se emplea generalmente para la decoración y protección de superficies, por ejemplo, paredes y fachadas. [15]

Este tipo de impermeabilizante está compuesto de variadas sustancias entre las cuales encontramos los siguientes, en la Figura N°2 se pueden ver de manera general, para luego abordarlos con mayor detalle:

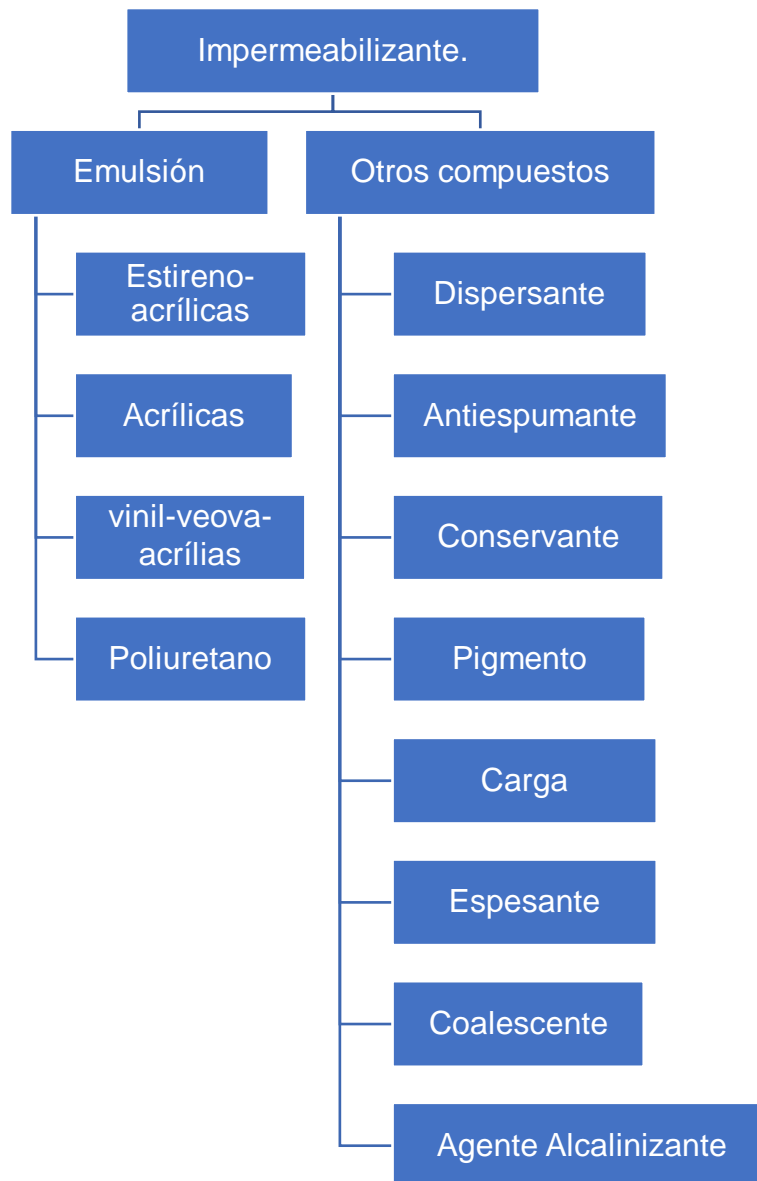


Figura N°2: Diagrama conceptual de los componentes un impermeabilizante.

Dispersante: Es un aditivo que garantiza la estabilidad de almacenamiento de la membrana, debido a que desfloculan sólidos y por lo tanto reducen significativamente la viscosidad de una dispersión; como consecuencia de esto la cantidad de material en polvo dispersable se puede aumentar. [16]

Antiespumante: Son agentes tensoactivos que actúan por medio de tensiones superficiales intermedias para lograr desestabilizar la espuma y liberar el aire retenido en la emulsión. [17]

Conservante: Es una agente biocida que se encarga de eliminar, contrarrestar, neutralizar o impedir la aparición de microorganismos que se consideran nocivos

para la salud humana y el medioambiente. Esta acción se realiza causando una lisis en los sistemas de la membrana celular del microorganismo, deteniendo las reacciones bioquímicas que sustentan la supervivencia de las bacterias. [18]

Pigmento: Son sustancias insolubles y opacas que se utilizan para aportar color y poder de cubrición a la pintura, pueden ser naturales o sintéticos, inorgánicos u orgánicos. El pigmento más usado es el dióxido de titanio o dióxido de titanio, debido a que es blanco, pudiendo generar cualquier color, posee un alto índice de cubrición y de resistencia a los agentes químicos y los rayos ultravioleta. [19]

Carga: Son en su mayoría de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida, y dan estructura, viscosidad y reología al recubrimiento. Las cargas son opacas cuando están secas, pero son translucidas en estado húmedo. Una gran diferencia con los pigmentos es su bajo índice de refracción, entre 1,5 y 1,7, por lo que su contribución al poder cubriente de la pintura es despreciable. [20,21]

La carga más usada como relleno en recubrimientos plásticos es la de carbonato de calcio, debido a su bajo costo, buena resistencia al exterior y buena opacidad en seco, mientras que una de las cargas más usadas como extendedor es el silicato de aluminio natural, debido a que su efecto radica en que las partículas de pigmento no se aglomeran.

Espesantes: Son aditivos que se añaden a la pintura para cambiar su comportamiento reológico, con el fin de conseguir una reología conocida y adecuada a cada situación a la que se someta el producto en cuestión. [22-25]

Existen diversas familias de espesantes en el mercado, según su naturaleza química, uno de los más destacados en el espesante acrílico para recubrimientos en base agua, son polímeros de ácido acrílico o copolímeros vinil-acrílicos, suministrados en emulsión acuosa al 40% y que a $\text{pH} < 5$ son totalmente fluidos. Al alcalinizar el medio se hinchan y aumentan la viscosidad del medio, obteniéndose una estructura de elevado carácter tixotrópico.

Coalescente: Es un disolvente orgánico, actúa disolviendo o ablandando el polímero para generar un *film* continuo, es decir las partículas de latex individualmente se deforman y fluyen entre ellas. [26]

Co-solvente: Aditivo usado en pequeñas cantidad para mejorar la efectividad del solvente primario de la pintura plástica. [26]

Agente alcalinizante: Sustancia que aumenta el pH con el fin de dar estabilidad a la pintura y de preparar el medio para que ciertos aditivos, como algunos tipos de

dispersantes y espesantes, puedan actuar. Algunos de los productos más usados son metil propanol (AMP), hidróxido de sodio y dietanolamina (DEA). [27]

Emulsión: Es una dispersión, es decir un sistema de dos fases, la cual tiene una fase continua, medio de dispersión del líquido, en el cual el componente sólido (fase dispersa) es distribuido. [28]

Sin embargo, para efectos de este trabajo se define emulsión polimérica, la cual está formada por una fase continua, el agua, y una fase discontinua o dispersa, las partículas de monómero o mezcla de ello. A causa de esto es llamado como el ligante, en virtud de que su función principal es mantener unidos de forma homogénea todos los componentes de la pintura en emulsión. [17]

Los polímeros en dispersión más importantes y usados en el presente trabajo son: [17-19]

Copolímeros estireno-acrílicos: Son lo más utilizados debido a su gran capacidad ligante. Con ellos es posible formular pinturas de alto porcentaje en cargas de relleno, por tanto, de precios muy competitivos. La resina suele estar formada por estireno, que le aporta mayor dureza al polímero, y una parte blanda, como por ejemplo los acrilatos de butilo o de 2-etil-hexilo. Las reacciones de estos compuestos generan los copolímeros estireno acrílicos, caracterizados por sus propiedades de flexibilidad y estabilidad química frente a variaciones de temperatura, siendo recubrimientos apropiados para impermeabilizantes aplicados a estructuras propensas a movimientos telúricos o grandes variaciones de temperatura entre estaciones. En la Figura N° 3, 4 y 5 se pueden observar las estructuras de los monómeros del copolímero.

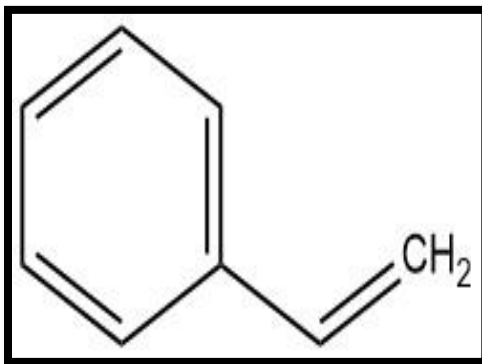


Figura N°3: Estructura química del monómero estireno.

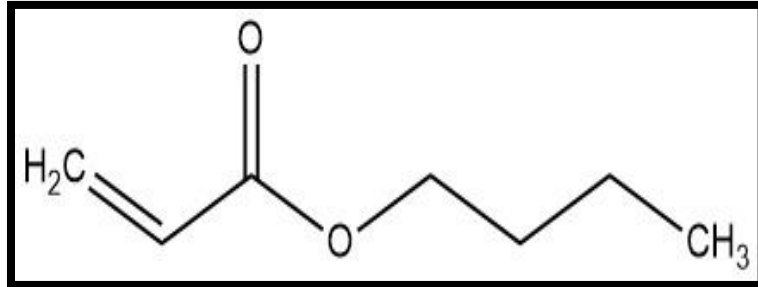


Figura N°4: Estructura química del monómero acrilato de butilo.

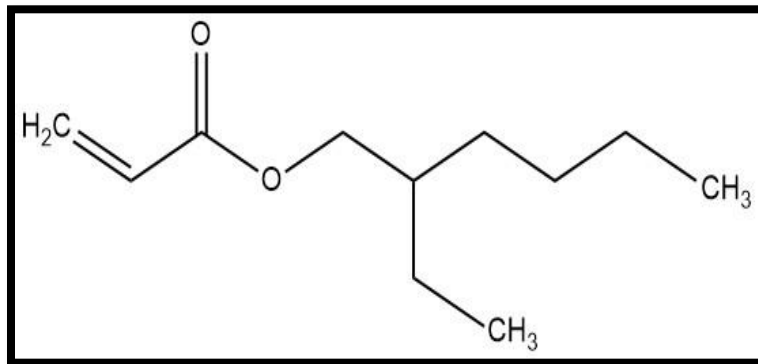


Figura N°5: Estructura química del monómero acrilato 2-etilhexilo.

Copolímeros acrílicos: Están compuestos por monómeros de metil metacrilato, representado en la Figura N°6, la cual es la parte rígida del polímero, y acrilato de butilo. Las emulsiones presentan de manera general 50% en materia sólida, lo que otorga características como una elevada resistencia a la luz y a la intemperie, por lo que se utilizan sobre todo en pinturas de exterior. Sin embargo, su precio es bastante elevado, razón por la cual su uso se restringe a casos donde resulta estrictamente necesario hacerlo y se buscan alternativas que cumplan de manera igual o similar a estos copolímeros.

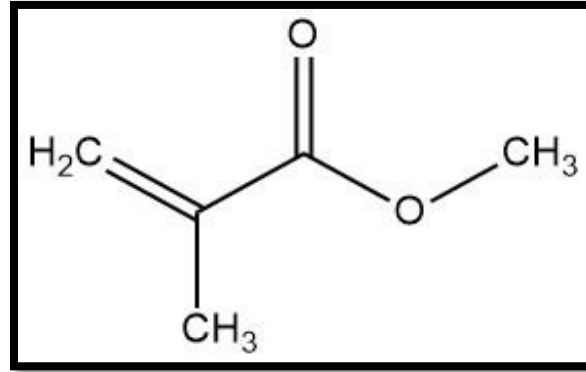


Figura N°6: Estructura química del monómero metil metacrilato.

Copolímeros vinil-veova-acrílicos: Estos copolímeros tienen como base los monómeros acetato de vinilo (VAM) y veova10, apreciados en la Figura N°7.

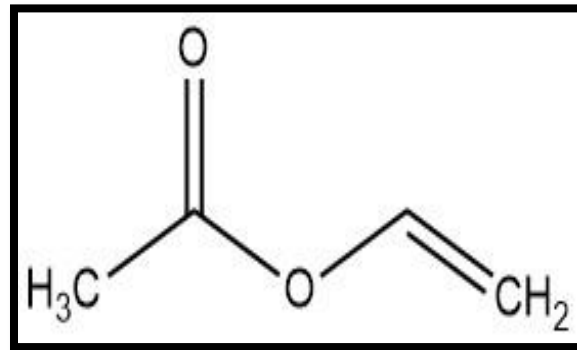


Figura N°7: Estructura química del monómero acetato de vinilo (VAM).

El monómero de veova 10 se caracteriza por ser una estructura altamente ramificada con cadenas de carbono voluminosas, en la Figura N°8 se da cuenta de ello, lo que le concede las características de baja tensión superficial, por lo que le da la característica de ser más hidrófugo, por lo tanto, altamente resistencia a la saponificación y además resistente a la degradación producto de la exposición de radiación ultravioleta. [29-32].

Su principal uso es en la modificación de copolímeros de vinilo y polimerización de acrilatos.

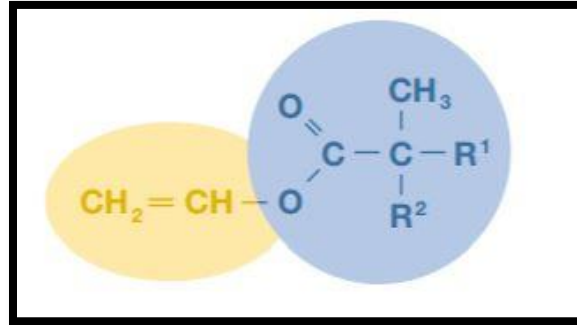


Figura N° 8: Estructura química del monómero Veova 10.[31]

Copolímeros de poliuretano: Este polímero aparece cuando se hace reaccionar monómeros de diisocianatos con dialcoholes, para obtener la estructura presente en la Figura N°9. [33]

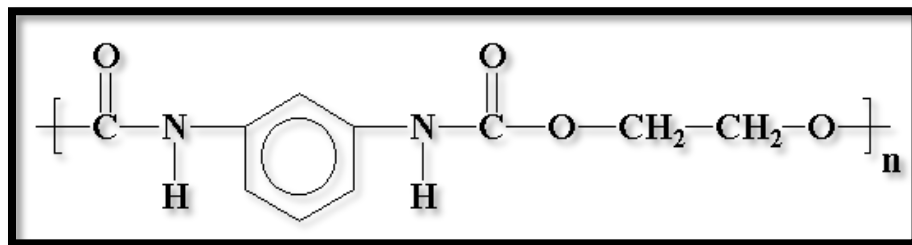


Figura N°9: Estructura química del monómero de poliuretano.

Los poliuretanos componen la única familia más versátil de polímeros que existe. Pueden ser elastómeros, y esta es una gran propiedad para recubrimientos sometidos a esfuerzos mecánicos. Además de ello son una estructura que da una buena resistencia a degradación producto de rayos ultravioleta y abrasión.

1.4.1.1 Mecanismo de preparación de la emulsión.

Para la preparación de las dispersiones de Mowilith, se debe tener en cuenta cuatro componentes principales: monómeros, emulsionantes, agua e iniciadores, todo esto dará lugar a la polimerización en emulsión en el proceso de nucleación micelar. [34]

El proceso de preparación de las emulsiones poliméricas se inicia cuando se agrega los emulsificantes al agua. Esto es una parte elemental del proceso, en vista que el emulsificante es un surfactante, es decir mantiene la mezcla estable debido a que en su estructura contiene una mitad hidrofílica y otra hidrofóbica, por ello se ubica en la interfaz entre el polímero y la fase acuosa, formando una micela, la cantidad

mínima necesaria para formar una micela corresponde a la concentración micelar crítica o CMC.

Como segunda parte se agregan los monómeros que quedan dentro de la micela, para posteriormente agregar el iniciador, el cual dará origen a la polimerización de los monómeros. Cuando la polimerización es finalizada, lo que se obtiene es una partícula de látex, esto se puede ver con mayor claridad en la Figura N° 10. Este proceso da lugar a lo que se ve de manera visible como un líquido blanco. [17,35-37]

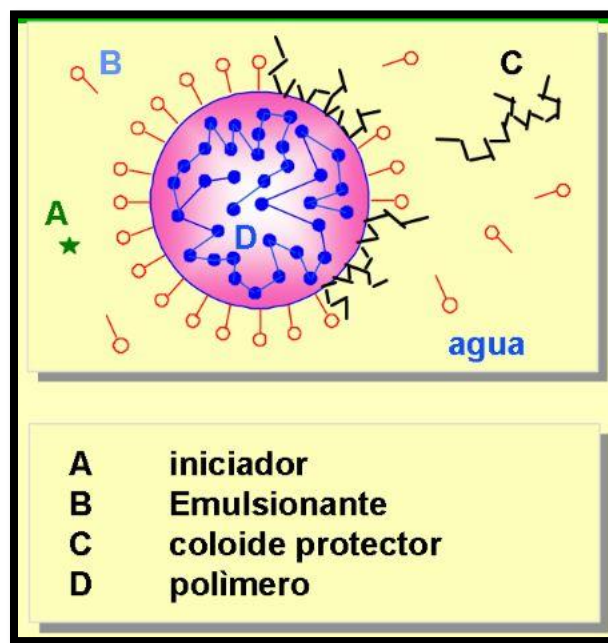


Figura N°10: Proceso de polimerización dentro de una micela.[34]

1.4.2. Formación de la película polimérica.

Una vez obtenidas las emulsiones poliméricas pueden ser aplicadas sobre diferentes tipos de sustratos para dar lugar a películas poliméricas. Este film es generado gracias a la temperatura mínima de formación de film (TMFF). [35,34]

La temperatura mínima de formación de film es la temperatura más baja a la cual una emulsión polimérica puede formar una película continua. Ésta es usualmente mayor que la temperatura de transición vítrea (Tg).

En una primera etapa, si la temperatura ambiente es mayor que la $TMFF$ del polímero en emulsión (es la misma del producto final), se produce el proceso físico de evaporación del agua, por lo cual partículas se acercan a tal punto que disminuyen sus movimientos traslacionales, ordenándose hasta que se tocan, luego, debido a la tensión superficial y las fuerzas capilares de las partículas que están en contacto se causa la deformación de estas, hasta fusionarse, proceso conocido como coalescencia. Esto se puede apreciar claramente en la imagen N°11. [35,38,39]

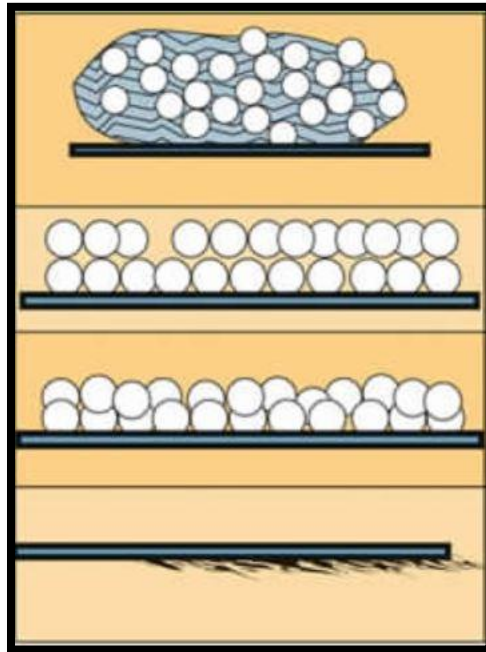


Figura N°11: Proceso de formación de la película de recubrimiento.[29]

De la figura N°11 se puede apreciar el proceso de coalescencia explicado anteriormente, hasta llegar a la formación de una película polimérica uniforme. Partiendo del polímero dentro del agua. A medida que se evapora el agua estas partículas comienzan a acercarse para luego fusionarse y obtener el film deseado.

Cuando el valor de la $TMFF$ de una resina está por encima de la temperatura ambiente, para conseguir la formación de la película correspondiente es necesario el uso de coalescentes. [17]

Un coalescente, normalmente disolvente orgánico, es un agente que se evapora en el proceso de secado, es decir, actúa como plastificante temporal bajando la $TMFF$.

Es básico que el disolvente no sea soluble en agua para no restar efectividad sobre el polímero, así como que su evaporación sea más lenta que la del agua. [17,18]

1.4.3 Propiedades requeridas al recubrimiento.

Los polímeros en emulsión dependiendo su naturaleza, mezcla y porcentaje de la composición monomérica del copolímero son de vital importancia, ya que de estos dependen las características finales del producto tales como, tiempo de secado, el aspecto sobre el sustrato, el porcentaje de absorción de agua, propiedades mecánicas y ensuciamiento. [13,17]

a) Absorción de agua y permeabilidad.

El requerimiento de baja permeabilidad al agua resulta bastante evidente ya que está asociado a una de las características que definen a este tipo de materiales. Además, pueden brindar una idea indirecta de la impermeabilidad al agua, presuponiendo que una mayor absorción de agua implicará un menor grado de impermeabilidad (acción de barrera hacia el pasaje del agua exterior a la mampostería).

Por otra parte, una baja absorción de agua es requerida a fin de minimizar el efecto de la misma sobre las propiedades mecánicas del recubrimiento (las propiedades de un film “hinchado” con agua serán diferentes a las del recubrimiento seco) como así también el efecto sobre la adhesión del recubrimiento al sustrato.

Estas dos propiedades dependen en gran medida del polímero, pero pueden ser alteradas por otros componentes de la formulación, debido a que cada uno aporta en su medida a las propiedades de la membrana impermeabilizante.

En cuanto a los polímeros, en general los copolímeros estireno acrílicos, acrílicos puros o vinílicos copolimerizados con monómeros hidrofóbicos, ejemplo Veova en elevada proporción presentan valores bajos de absorción de agua, esto debido a su estructura. [13]

b) Propiedades mecánicas

Dentro de las propiedades mecánicas siempre se hace referencia a la elongación del recubrimiento, definiéndolo como el porcentaje de estiramiento que un film del impermeabilizante de un espesor dado resiste antes de romperse. [13]

c) Ensuciamiento-*Dirt pick up*

Esto es una característica particularmente importante para recubrimientos de frentes y obviamente crítico en colores claros, debido a que mayor Tack (la característica cuantitativa de pegajosidad del film), el material tiene mayor índice de adquirir suciedad. [13]

Capítulo II

Hipótesis

Las dispersiones poliméricas acuosas con base química estireno- acrílicas y vinil-veova-acrílicas tienen la misma eficiencia que las emulsiones poliuretánica; Cumpliendo así los requisitos pedidos en la fabricación de membranas impermeabilizantes con menor costo y mayor beneficio medioambiental.

Capítulo III

Objetivos

3.1 Objetivo general

Estudiar emulsiones con diferentes tipos de bases química para su uso en pinturas impermeabilizante, utilizando diferentes tipos de recetas de membranas poliméricas.

3.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar fisicoquímicamente las emulsiones con diferente base química.
2. Evaluar la absorción de agua por inmersión, probetas Karsten y capilaridad para los distintos tipos de membranas con cada una de las dispersiones poliméricas.
3. Determinar las propiedades mecánicas de cada una de las resinas en las diferentes recetas de membranas.
4. Determinar el grado de influencia de los porcentajes monoméricos en las emulsiones para los diferentes ensayos realizados.

Capítulo IV

Metodología

En este trabajo se incluyeron las siguientes emulsiones:

Tabla N°2: Tabla de emulsiones con su respectiva clasificación de base química.

Emulsión	Base química.
Mowilith LDM 6137	Estireno-Acrílica
Mowilith DM 765	Estireno-Acrílica
Mowilith LDM 6481	Estireno-Acrílica
Mowilith LDM 6440	Estireno-Acrílica
Mowilith LDM 7901	Estireno-Acrílica
Mowilith LDM 2442	Vinil-veova-acrílico
Mowilith LDM 2494	Vinil-veova-acrílico
Mowilith LDM 9801	Poliuretano
Mowilith LDM 9806	Poliuretano
Moviplus Top LNA	Poliuretano

4.1 Caracterización fisicoquímica de las emulsiones

Todas las emulsiones anteriormente mencionadas se caracterizaron midiendo su pH, viscosidad y cantidad de sólidos y TMFF. [40-45]

4.1.1 Determinación de pH

La muestra a ser medida debe estar homogenizada por agitación con varilla, y con la precaución de no superar una temperatura de 25 °C y tampoco inferior a los 20°C. El pH se mide mediante un electrodo de vidrio lavado con agua desmineralizada que se introduce en la muestra, el valor es mostrado en el pH-metro, modelo (ORION STAR A 211). Posterior a la medición se lava nuevamente el electrodo con agua desmineralizada y se sumerge en una solución de cloruro de potasio, donde queda guardado entre cada medición.

4.1.2 Determinación de viscosidad

La muestra se homogeniza con varilla, se ajusta su temperatura a $23 \pm 0,1$ °C mediante un baño frío, se coloca en un equipo Brookfield, donde se introduce el

spindle correspondiente, se ajusta los parámetros de velocidad en 20 rpm, el valor de la viscosidad de la emulsión aparece en unidades de cp.

4.1.3 Determinación de contenido de sólidos

Se homogeniza la muestra cuidadosamente por agitación con varilla, para evitar grumos, luego en una cápsula de aluminio vacía se tara en la termobalanza modelo Metler HB 43, para agregar 1,5 gramos de la emulsión homogenizada, la cual se esparce sobre la cápsula de aluminio, se cierra la tapa de la termobalanza y se deja calentar uniformemente por 15 minutos hasta la obtención del valor de contenido de sólidos en la emulsión.

4.1.4 Determinación de temperatura mínima de formación de film.

La medición se efectuó con un equipo a placa metálica termostátizada en gradiente, la cual permitió medir temperatura entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ y $+90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1$. Para comenzar se prepara el equipo agregando vaselina para colocar sobre la placa una folia de papel aluminio de 19 cm x 70 cm, esparcido con un trozo de papel toalla para evitar la formación de burbujas de aire, una vez terminado, se enciende el equipo seleccionando el programa en el cual se estima se ubican las TMFF, se extienden las emulsiones sobre el papel aluminio, se tapa con la cubierta plástica que posee el equipo y se espera aproximadamente dos horas.

4.2 Determinación de las propiedades fisicoquímica de las emulsiones.

4.2.1 Preparación de películas secas de la resina pura

Para la preparación de las películas secas se homogeniza la resina líquida por agitación cuidadosamente con varilla de vidrio.

En un vaso precipitado de 100 mL, se prepara 70 g de la dispersión diluida al 30% de sólidos, que se agita hasta total homogeneidad con varilla de vidrio. En un plato circular de teflón o de acero de 17 cm de diámetro, se coloca la totalidad de la muestra diluida (70 g) con la finalidad de obtener, una vez seca, una película de espesor uniforme. El tiempo total de secado fue de 7 días a temperatura ambiente y durante este periodo la película se giró unas 7 veces para asegurar un secado uniforme. [46]

4.2.3 Determinación de la resistencia a la alcalinidad de resinas polimérica

Se masa 1 g \pm 0,1 de película seca y se introduce en 20 mL de una solución de hidróxido de potasio 2N en un matraz Erlenmeyer de 100 mL, el cual se mantiene sellado durante 7 días a 70 °C en una estufa UM 400 Memmert. Posterior a esto se valora una alícuota de 5 mL del líquido sobrenadante, diluida en 80 mL de agua destilada con una solución de ácido clorhídrico 1N y con el indicador fenolftaleína. De manera paralela se empleó el mismo procedimiento descrito a una solución pura que solo contiene hidróxido de potasio en ella.[47]

4.2.4 Determinación de absorción de agua por inmersión de películas secas.

Se corta un trozo cuadrado de película seca de 3 x 3 cm (9 cm²). Se masa el trozo en una balanza analítica modelo A 200S Sartorius.

En una bandeja que contiene agua destilada suficiente para cubrir todo el contenido se sumerge la película seca en el fondo cuidando de poner sobre ellas perlas de vidrio para que ésta se mantenga sumergidas. Se dejan por 24 horas bajo el agua para luego masarlas nuevamente, se espera 48 horas más con secado a temperatura ambiente, se masa nuevamente y se espera otras 24 horas más para ser masadas por última vez. [48-50]

El procedimiento se hizo por triplicado en cada una de las Emulsiones.

4.2.5 Resistencia y elongación de películas secas.

Se recortan trozos por cuadruplicado de película seca de 2 cm x 7 cm (14 cm²), se mide con un micrómetro el espesor de cada uno de los trozos cortados.

Se prepara el dinamómetro Instron 3369 junto con el computador, se ajusta la distancia de las mordazas en 30 mm. Luego de esto se monta y fija el trozo de película seca entre las mordazas del dinamómetro, ayudándose de cinta adhesiva de papel.

El equipo registra la tensión máxima que es sometida la película seca hasta su ruptura en Mpa y su recorrido el cual se expresa en mm. [51,52]

4.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas de membranas impermeabilizantes. Preparación de películas con fórmula orientativa.

4.3.1 Preparación de fórmula orientativa membrana A-33% solido polímero.

Tabla N°3: Tabla de reactivos y cantidades para preparación de membranas con receta A.

Reactivo	Cantidad (g)
Resina (50% solidos)	660
Emucryl D	1,5
Tripolifosfato de sodio	0,5
Nopco 8034	5
Fongrabac IG	3
Dióxido de titanio	5
Silicato de aluminio P-820	20
Tiza R-1 (malla 325)	280
Mowilith LDM 7030	8
AMP 95	2
Acetato de butil de glicol	10
Aguarrás mineral	5
Total	100

Se agrega cada una de las materias primas en el orden mencionado de manera consecutiva con agitación constante. [53]

4.3.2 Preparación de fórmula orientativa membrana B- 20% solido polímero.

Tabla N°4: Tabla de reactivos y cantidades para preparación de membranas con receta B.

Reactivo	Cantidad (g)
Resina (50% solidos)	400
Agua	124
Emucryl D	2
Tripolifosfato de sodio	1
Nopco 8034	5
Fongrabac IG	3
Dióxido de titanio	20
Silicato de aluminio P-820	20
Tiza R-1 (malla 325)	400
Mowilith LDM 7030	8
AMP 95	2
Acetato de butil de glicol	10
Aguarrás mineral	5

Se agrega cada una de las materias primas en el orden mencionado de manera consecutiva con agitación constante. [54,52]

4.3.3 Caracterización fisicoquímicas de las membranas A y B.

Se realizó el procedimiento 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3, del mismo modo que a las emulsiones la determinación de sus propiedades fisicoquímicas, pH, viscosidad y contenido de sólidos.

4.3.4 Preparación de las películas secas membranas A y B respectivamente.

Con un aplicador de 800 μm sobre papel siliconado se aplicaron membranas A y B, creando una película pareja, las cuales se dejaron secar por una semana dándoles vueltas 5 veces con el objetivo de permitir un secado uniforme por ambas caras. [46]

A las películas de membrana A y B se realizaron las pruebas de absorción de agua por inmersión y elongación a temperatura ambiente de películas secas de la misma manera que a las emulsiones en el procedimiento 4.2.4 y 4.2.5.

4.3.4.1 Resistencia y elongación de películas secas a baja temperatura.

Se recortan trozos por cuadruplicado de película seca de 2 cm x 7 cm (14 cm^2), se miden con un micrómetro el espesor de cada una de las muestras cortadas. Se

colocan dentro de un congelador de un refrigerador Mademsa por tres días aproximadamente hasta que alcancen una temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$.

Se prepara el dinamómetro Instron 3369 junto con el computador, se ajusta la distancia de las mordazas en 30 mm. Luego de esto se monta y fija el trozo de película seca a baja temperatura entre las mordazas del dinamómetro, ayudándose de cinta adhesiva de papel.

El equipo registró la tensión máxima que es sometida la película seca a baja temperatura hasta su ruptura en N/mm y su recorrido el cual se expresa en mm. [51,52]

4.3.4.2 Determinación de absorción de agua a través de probetas Karsten.

Sobre un sustrato de fibrocemento de 30 cm x 20 cm (600 cm^2), se aplica la membrana con una brocha, luego de 4 h se aplica una segunda mano, se deja secar 24 h a temperatura ambiente, transcurrido el secado se adosa una probeta Karsten, con la ayuda de una masilla impermeable que mantuvo la probeta adherida sin problema y sin dejar que el agua dentro de ella se traspasara.

La probeta Karsten fue llenada hasta los 4 mL. Se realiza un registro de la reducción del contenido de agua dentro de la probeta en los tiempos de 1 h, 5 horas, 7 h y 24 h. Además de esto el blanco consistió en un sustrato sin impermeabilizantes para tener parámetros a comparar. [55,56]

4.3.4.3 Determinación de absorción de agua por esponja saturada.

Sobre un sustrato de fibrocemento de 9,8 cm x 6,0 cm x 1,3 cm ($76,44\text{ cm}^3$), se aplica la membrana líquida con una brocha, luego de 4 h se aplica una segunda mano, se deja secar 24h a temperatura ambiente, transcurrido el secado se masa y se registran los valores antes de comenzar el ensayo, posteriormente se deposita sobre una esponja de poliuretano saturada de agua puesta sobre una fuente de aluminio de 30 cm x 20 cm (600 cm^2). Se masan los sustratos impermeabilizados por triplicado en tiempos de 4h, 6h y 24 h. Además de esto se resguardar que la esponja siempre este saturada de agua debida a la evaporación del agua producto de la temperatura ambiental.

En este procedimiento se realiza también con un blanco, que consiste en un sustrato de fibrocemento sin impermeabilizante para tener parámetros a comparar.[56]

4.3.4.4 Determinación de permeabilidad al vapor.

En un contenedor plástico de 10cm x 6cm x 5cm (300 cm³), se agrega 20 mL de una disolución saturada de dihidrógeno fosfato amónico, luego en la tapa del contenedor se sella con cinta doble faz los bordes de la membrana cortada en las siguientes medidas 7,5cm x 4,5 cm (33,75 cm²), posteriormente se masa el conjunto y se deja esperar una 24 horas para volver a masar, esto se reproduce por 5 días. Se mantiene una precaución de que en el lugar donde se realiza el experimento no haya demasiadas fluctuaciones de temperatura ambiental. [57-59]

Capítulo V

Resultados y discusión

5.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica de las emulsiones.

5.1.1 Determinación de pH, contenido de sólidos y temperatura mínima de formación.

En la Tabla N°5 se resumen las características fisicoquímicas de las emulsiones estudiadas. Se puede observar que casi todas las emulsiones presentan valores sobre el 50% de sólidos, lo que se refiere en cuanto al porcentaje de activos, el resto corresponde a agua de la emulsión, a excepción de las emulsiones de naturaleza poliuretánica, lo que junto con los valores de TMFP (temperatura mínima de formación de film), prevé una película seca uniforme a temperatura ambiente y con escasa presencia de aire.

Los valores de Tg, (temperatura de transición vítrea), está determinada por la composición monomérica de la emulsión, lo que denota a valores bajos una formación de película flexible y a valores alto un film de mayor rigidez, por ende, la mayoría de los valores mostrados en la tabla N°5 a excepción de la emulsión Mowilith LDM 6137 y Mowilith LDM 2442, se deducen que cumplen con una elevada elasticidad de la película polimérica, es decir son aptas para ser usadas sobre sustratos sometidos a esfuerzos mecánicos, como cambios elevados de temperatura o movimiento sísmico. [13,35]

Los valores de pH de las emulsiones dan un referente de la estabilidad química de los posibles impermeabilizantes a desarrollar usando diferentes tipos de emulsiones, a valor más básico de la emulsión, mejor será su resistencia a la saponificación, siendo en este caso las de base química poliuretánica. [60]

La viscosidad es otro parámetro importante en las emulsiones, la cual se entiende como la proporcionalidad existente entre el esfuerzo por unidad de área (F/A) necesario para producir un gradiente de velocidades en un fluido, lo que determinara en este trabajo que tan fácil es su aplicación y con ello la inversión en mano de obra para su especialización en la aplicación o productos a parte de la pintura impermeabilizante que faciliten esta tarea. Finalmente, esto repercute en el precio final de la emulsión. [61]

Tabla N°5: Tabla de resultados del contenido de sólidos, viscosidad, TMFP Y pH para cada una de las emulsiones estudiadas.

Emulsión	Contenido de sólidos (%)	Viscosidad (cp)	Tg (°C),	TMFP (°C)	pH
Mowilith LDM 6137	50,3	1126	19	16	8,0
Mowilith DM 765	51,0	10580	-6	0	8,2
Mowilith LDM 6481	56,7	938	-8	0	7,0
Mowilith LDM 6440	49,7	11620	-5	0	8,0
Mowilith LDM 7901	55,1	575	-15	-1	7,1
Mowilith LDM 2442	51,1	176	20	10	5,1
Mowilith LDM 2494	55,4	1595	-9	0	4,3
Mowilith LDM 9801	32,5	155	>-10	>-5	8,5
Mowilith LDM 9806	31,7	56	>-10	>-5	8,4
Moviplus Top LNA	30,6	38	>-10	0	8,5

5.2 Preparación de películas secas de la resina pura.

Las características fisicoquímicas de las emulsiones dan cuenta de su capacidad para ser utilizadas en la producción de impermeabilizantes, los cuales cumplen con diferentes niveles de exigencias, dependiendo del lugar donde se aplican, aspectos importantes para ello son el grado de pegajosidad, es decir el Tack, si tienen pigmentos que le otorguen color, la flexibilidad que toleren, y el tipo de sustrato donde se apliquen. Ejemplo de ello son las exigencias en impermeabilizar una jardinera, una fachada o habitación de interior, debido a que cada una tiene distintos niveles de contacto con el agua, esfuerzos mecánicos y niveles de Tack a tratar. [62,63]

Las emulsiones que presenta un alto Tack, son por lo general de un Tg bajo (cercano a 0°C), por lo tanto, contiene mayor cantidad de monómeros blandos en su composición polimérica, por ende son altamente flexibles, obteniéndose emulsiones altamente eficientes para la aplicación sobre diferentes tipos de sustratos que estén sometidos a esfuerzos mecánicos, pero deficientes para pinturas elastoméricas que también se les exija la características de ser decorativas, debido a que presentan un alto "*dirt pickup*", lo que se entiende como el grado de ensuciamiento que poseen estos productos. Esto es incluso más relevante en ambientes con altas temperaturas debido a que hay un grado mayor de polvo en aire. Por ello emulsiones como Mowilith DM 765, Mowilith LDM 6440 y Mowilith LDM 6481, mostradas en la tabla N°6, son evitadas para ser usadas en fachadas, en especial en pinturas con colores claros, no así las emulsiones poliuretánicas que no presentan Tack. [62]

Por otro lado, muchos impermeabilizantes no tienen la necesidad de tener color ya que su función principal es evitar que el material aislado sea alcanzado por la humedad, siendo solo un uso funcional y no decorativo para el material a impermeabilizar, explicando porque el Tack podría ser influyente o no, dependiendo el uso que se le otorgará al impermeabilizante. [13]

Otro aspecto importante para mencionar es el grado de elongación, una flexibilidad alta sería recomendable para instalaciones sísmicas. Un elevado intervalo de movimiento tiene la capacidad de generar grietas en una película rígida, y con ello perder la característica de evitar el paso del agua, debido a que podría ocurrir una filtración de agua hacía el sustrato aplicado.

Finalmente, también el tipo de superficie donde se aplicará el impermeabilizante. Por ejemplo, para una impermeabilización de losa no se requiere que contenga un alto brillo, solo será tomada en cuenta su flexibilidad, por ejemplo, la emulsión

Mowilith LDM 6481 sería un buen prospecto debido a sus cualidades presentadas en la tabla N°6.

Tabla N°6: Tabla de resultados para las características fisicoquímicas de las emulsiones.

Emulsión	Tack	Transparencia	Flexibilidad	Brillo
Mowilith LDM 6137	Sin Tack	Turbia, algo amarillenta.	Media.	Opaca.
Mowilith DM 765	Alto Tack	Transparente.	Media.	Bajo brillo.
Mowilith LDM 6481	Alto Tack	Turbia, algo amarillenta.	Alta.	Bajo brillo.
Mowilith LDM 6440	Alto Tack	Transparente.	Media alta.	Alto brillo.
Mowilith LDM 7901	Alto Tack	Turbia, algo amarillenta.	Alta.	Medianamente brillante.
Mowilith LDM 2442	Sin Tack	Levemente turbia.	Baja	Medianamente brillante.
Mowilith LDM 2494	Medianamente con Tack	Transparente.	Alta	Alto brillo.
Mowilith LDM 9801	Sin Tack	Transparente.	Media	Medianamente Brillosa.
Mowilith LDM 9806	Sin Tack	Turbia.	Moderada	Opaca.
Moviplus Top LNA	Sin Tack	Transparente.	Baja	Alto brillo.

5.2.1 Determinación de la estabilidad a la alcalinidad de resinas polimérica.

La resistencia a la saponificación es un importante parámetro para estudiar, ya que los recubrimientos elastoméricos podrían ser aplicados en sustratos alcalinos como en preparaciones frescas de concreto. En efecto las preparaciones frescas de concreto pueden exhibir valores de pH en un rango entre 12-14, lo cual producen la degradación de las pinturas que no son resistentes a la saponificación. [13,62]

Una manera de corroborar que los componentes que se usan para proteger a los materiales de las reacciones árido-álcali, es a través de la medición del índice de saponificación, el cual da cuenta de la degradación química por saponificación de la película de la emulsión polimérica evaluada. Los resultados obtenidos en la Figura N° 12, indican que en la mayoría de las emulsiones en estudio cumple con la protección a la alcalinidad, puesto que el método de ensayo informa que para

valores inferiores a 100 se considera la dispersión estable a la saponificación. Para valores superiores a 600 se produce saponificación completa. [47,64]

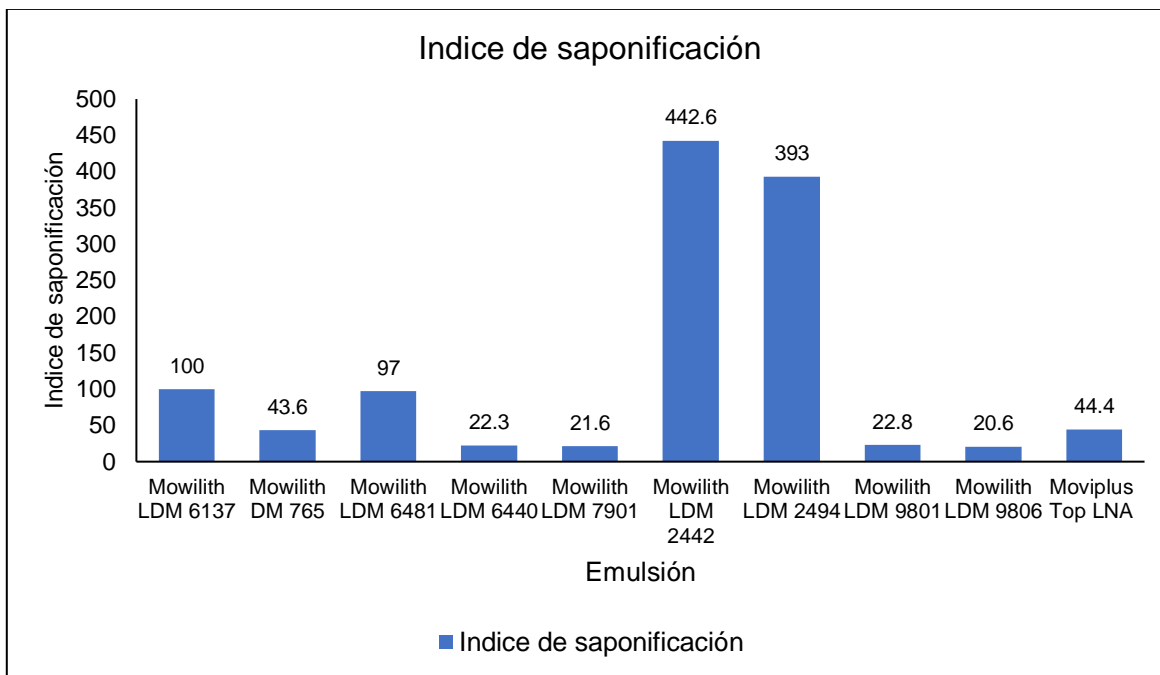


Figura N° 12: Índice de saponificación versus emulsión.

Los resultados mostrados en la Figura N°12, dan cuenta que las resinas poliuretánicas son las que presentan mayor resistencia a la saponificación (menor índice de saponificación). Esto se debe principalmente a su estructura química. El poliuretano posee un grupo carbamato, el cual es estable frente a reacciones de condiciones alcalinas, porque presentan una resonancia que los hace altamente estables, lo cual produce que la adición nucleofílica sea ineficiente en este grupo. [65]

A continuación de las membranas poliuretánicas vienen las de base química estireno-acrílicas, de las cuales por bibliografía actúan de la manera esperada, siendo resistentes a la saponificación. El estireno no presenta grupos ésteres y al estar en mayor proporción en el copolímero, no sufren la degradación química. Se destaca el Mowilith DM 765, por su bajo índice de saponificación, debido a su copolímero está formado por los monómeros estireno y acrilato 2-etilhexilo, ya que según bibliografía los acrílicos siempre presentan una excelente resistencia a la saponificación. [62,66,67]

Las emulsiones estireno acrílicas, aunque presentaron menor resistencia a la saponificación que las poliuretánicas, son las que presentaron los mejores resultados de todas las emulsiones analizadas. Los resultados obtenidos mostrados en la Figura N°4, son concordantes con la bibliografía. El estireno no presenta

grupos esteres por lo tanto no es susceptible a una degradación alcalina. De todas las emulsiones estireno acrílicas, la que mostró mejor resistencia frente un medio básico fue 765 debido a que en su parte acrílica corresponde a acrilato 2-etilhexilo, su estructura favorece la resistencia debido al impedimento estérico que posee en comparación al acrilato de butilo contenido en la parte acrílica de las otras emulsiones en estudio.

En último lugar viene las membranas poliméricas vinil-veova-acrílicos, si bien se muestra que la parte acrílica presenta buena resistencia a la saponificación, son monómeros de mayor valor monetario, por lo cual están presentes en menor proporción en el copolímero y los polímeros vinílicos son muy susceptibles a la saponificación, puesto que se degradan muy rápido en medio alcalino, pero su valor comercial es menor que el veova o los monómeros acrílicos. Además, la saponificación del éster vinílico conduce al alcohol polivinílico y ácido acético, mostrado en la figura N°13:

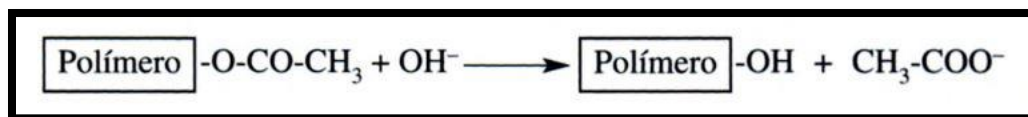


Figura N°13: Reacción de saponificación de polímeros vinílicos. [67]

Los copolímeros vinílicos con Veova, tiene una resistencia suficiente a la alcalinidad y son aptos para pinturas de fachada, siempre y cuando tengan suficiente cantidad de Veova, en este caso Veova 10, el cual ejerce una protección ante la saponificación, debido a que su estructura posee cadenas de carbono altamente ramificada, de esa manera se protege los grupos de acetato vecinos, dando estabilidad del polímero. Sin embargo, el monómero de mayor proporción en estas emulsiones por ser más rentable económicamente es el acetato de vinilo (VAM), lo que son sensibles a la saponificación, ya explicado anteriormente. [67]

La saponificación del polímero se efectúa en la zona alcalina de contacto entre el recubrimiento y el sustrato mineral a base de ligantes hidráulicos. Por consiguiente, la degradación del polímero vinílico en esta zona de anclaje conduce preferentemente a un descascado del recubrimiento, llamado caleo o calcinación. Es por ello la importancia de elegir emulsiones resistentes a la saponificación cuando se tiene que proteger sustratos alcalinos. [67]

5.2.2 Determinación de absorción de agua por inmersión.

En la Figura N°14 se puede apreciar que la segunda absorción de agua siempre es menor debido a que en la primera siempre existe componentes solubles de la

película que son eliminados, en tanto la segunda inmersión es asociada cuando la película de la emulsión ya tiene un grado leve de envejecimiento y su valor para todos los casos es menor, por lo cual la segunda absorción es más representativa. [49]

Esto es un valor relevante para analizar qué tan eficiente es un impermeabilizante o no. El requerimiento de baja permeabilidad al agua resulta bastante evidente ya que está asociado a una de las características que definen a este tipo de materiales, una mayor absorción de agua implicará un menor grado de impermeabilidad (acción de barrera hacía el pasaje del agua exterior al sustrato) debido esto puede provocar que el agua absorbida degrade el impermeabilizante de forma acelerada, permitiendo filtraciones hacia los materiales de construcción. [13,68]

Las propiedades mecánicas del film también son afectadas por la medida de hidrofilia de la emulsión, ya que una película polimérica abultada con agua al interior de ella tendrá problemas en cuanto a la adhesión de ella con el sustrato, dejando de cumplir con la exigencia requerida. [13,49]

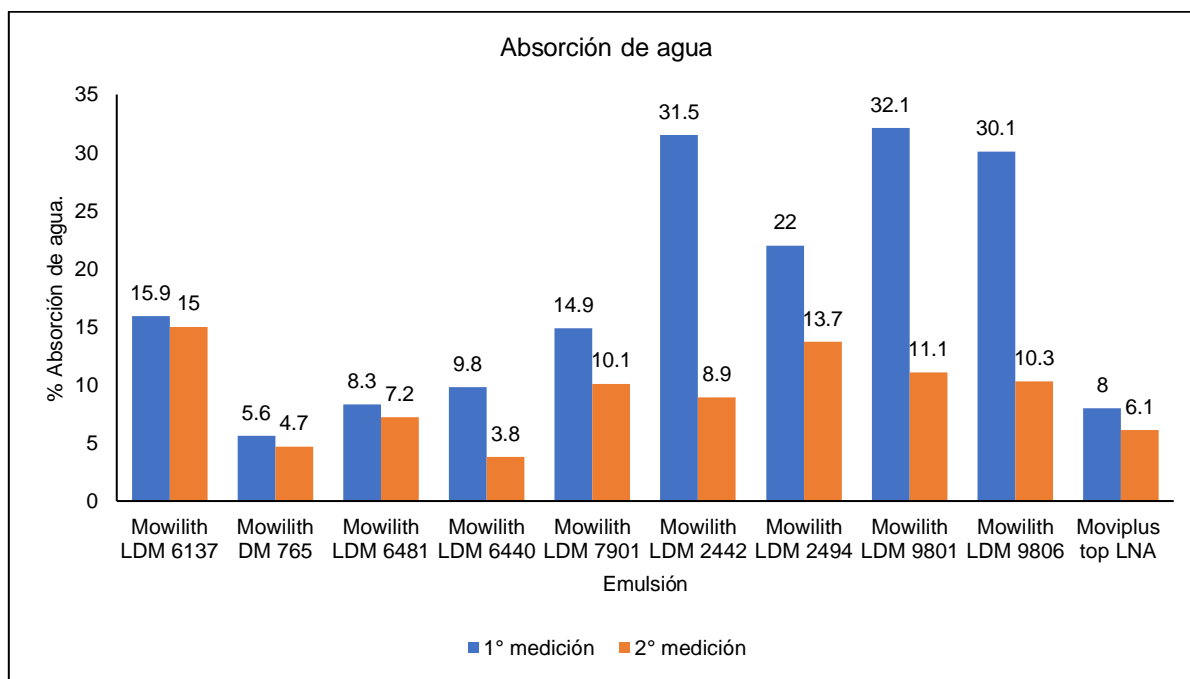


Figura N° 14: Absorción de agua versus porcentaje de absorción de agua.

Actualmente el impermeabilizante con mayor demanda en el mercado son los acrílicos o también llamados elastoméricos, por su perdurabilidad y por ser completamente atóxico, por lo que puede ser usado en cualquier ambiente. Además, son productos en base agua a diferencia de los poliuretánicos, otorgándoles una ventaja por sobre su competencia. En la Figura N°14 las pinturas

basadas en emulsiones con monómeros de naturaleza estireno acrílicos, Mowilith DM 765, Mowilith LDM 6440, Mowilith 6481, son los mejores dentro de los de base química estireno acrílicas, debido a que el grupo estireno tiene un grado alto de hidrofobicidad, esto se debe al valor de tensión superficial ($\gamma=28,2$) que tiene en comparación con monómeros que presenten también momento dipolar cero, considerados, hidrófobos. La tensión superficial es definida como la energía requiere para incrementar el área superficial de un líquido, o la fuerza requerida para incrementar la longitud de una superficie líquida en una cantidad dada. Esta propiedad resulta de las fuerzas cohesivas entre las moléculas en la superficie de un líquido, y hace que la superficie de un líquido se comporte como una membrana de goma estirada. [69,70]

La gran diferencia entre el Mowilith DM 765 y los otros copolímeros de naturaleza estireno-acrílicos, es que además este presenta acrilato de 2-etilhexilo, el que tiene una tensión superficial más baja debido al grupo 2-etilhexilo, si bien no se encontró su valor exacto se compara con el valor del hexano ($\gamma=18,9$) pudiendo ser un valor cercano y mucho menor que el estireno, lo que otorga mayor hidrofobicidad, siendo está la razón de ser el mejor en cuanto a la absorción de agua dentro de los estireno acrílicos.[69]

Las emulsiones vinil-veova-acrílicas, tienden absorber más agua que los productos que contiene copolímeros estireno acrílicos. Esto se explica debido a la razón monomérica en la emulsión, ya que, aunque el Veova 10 tiene un valor bajo de solubilidad, 0,001 (esto es en base g de monómero/100 g de agua), lo cual es menor que el valor del estireno (0,003). Por ende, se deduce que es más hidrofóbico, este se encuentra en menor cantidad monomérica en los productos debido a su costo económico, mientras el estireno tiene un precio menor, siendo más rentable para la industria y siendo usado en mayor proporción en las emulsiones.[71]

Finalmente, para las emulsiones poliuretánica, los valores observados, son valores por debajo de lo esperados, a excepción de Mowilith Top LNA, pero esto puede tener explicación debido a la cantidad de sólidos que poseen, solo de un 30%, creando películas con mayor porosidad que faciliten la absorción de agua a través de la capilaridad, fenómeno por el cual un líquido fluye dentro de un material poroso debido a la atracción de las moléculas líquidas. Las fuerzas adhesivas entre el líquido y el material poroso, combinadas con las fuerzas de cohesión dentro del líquido producen el movimiento del agua hacia el interior de los materiales.[70]

El Moviplus Top LNA al ser alifático en base a su ficha técnica, se infiere que posee un alto nivel de hidrofobicidad y por ende existe una concordancia entre el valor obtenido y el valor esperado.[72]

5.2.3 Porcentaje de elongación de películas secas.

El porcentaje de elongación de un film se relaciona con las propiedades mecánicas de la película seca del polímero, y para las emulsiones utilizadas en impermeabilizantes deben poseer una alta capacidad de elongación y así poder clasificarse como recubrimiento elástico. [13]

Las emulsiones con el porcentaje de elongación más altos son Mowilith LDM 6481 y Mowilith LDM 6440, las cuales presentan porcentajes de elongación cercano al 2000%. Debido a que, si bien son de naturaleza estireno acrílicas, y el estireno es un monómero duro de Tg (100 °C), contiene una parte acrílica, la cual es acrilato de butilo que presenta una Tg de -54 °C. Por lo tanto, se infiere que su composición copolímero contiene más del monómero blando. [13]

Las demás emulsiones de base química estireno-acrílicas presentan porcentajes de elongación entre 400% y 500%. Una emulsión de esta misma naturaleza con un porcentaje más elevado que 500%, es la emulsión Mowilith DM 765, la cual en su parte acrílica presenta acrilato 2-etilhexilo, el cual es un monómero altamente blando de Tg -85 °C.

Las emulsiones de naturaleza vinil-veova-acrílicas, presentan valores similares al resto de las estireno-acrílicas, debido a que ambas en su parte acrílica presentan el acrilato de butilo, cuya Tg es de -54 °C, pero tanto el estireno como el vinil acetato tiene unas Tg, relativamente más altas de +100°C y 29°C respectivamente, que dependiendo su composición monomérica en la fórmula aportará en la elasticidad a la emulsión. [35]

Existen otros parámetros que afectan de manera especial también a las emulsiones y son la estructura de la partícula. Generalmente las emulsiones que presenten tamaño de partícula más pequeños tendrán la formación de un film más uniforme, lo que genera menor riesgo de presencia de aire en el film, por lo tanto, la fuerza aplicada se ve distribuida en toda la película, siendo más difícil su ruptura, ejemplo de ello se tiene que la emulsión Mowilith LDM 6481 presenta un tamaño de partícula de 0,2µm y se puede ver en su porcentaje de elongación que el valor fue el de más alto, por consiguiente es una característica a considerar cuando se tienen que tener impermeabilizantes sometidos a grandes esfuerzos mecánicos.[14,34,74]

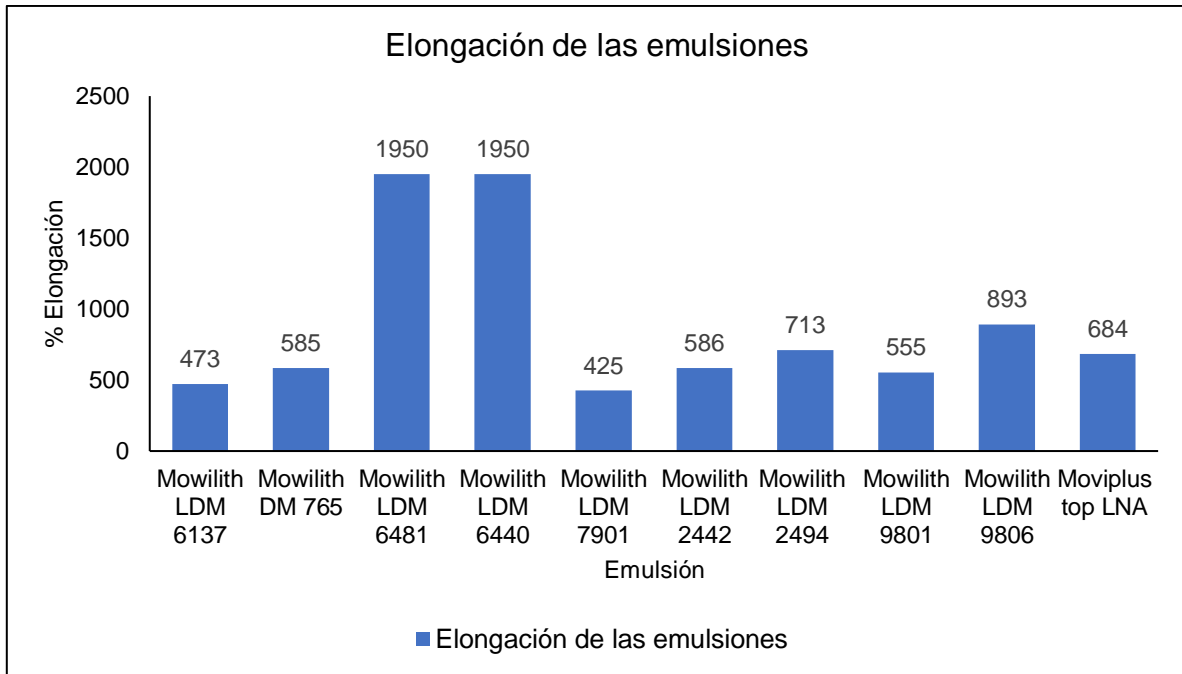


Figura N° 15: Porcentaje de elongación versus emulsiones.

Otro aspecto importante a considerar es el espesor del film, tal como se observa en la Figura N° 16, hay una relación entre el espesor y la capacidad de elongación del polímero, a menor espesor se puede observar un mayor porcentaje de elongación, siendo esta una de las razones por las que el espesor del recubrimiento es considerado crítico para las propiedades del mismo, por esto el espesor de film para cada una de las emulsiones es de 800 μm . [13]

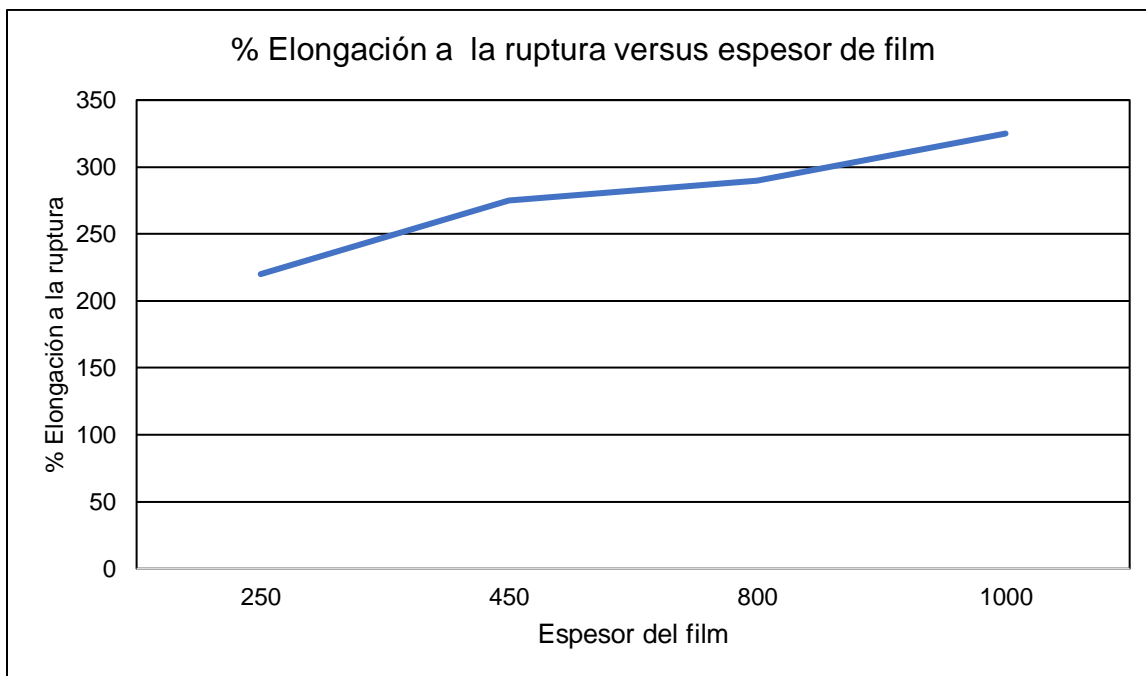


Figura N°16: Porcentaje de elongación a la ruptura versus espesor del film.

5.3 Resultados de la caracterización fisicoquímica de las Membranas.

Anteriormente, en el punto 5.1.1, se realizó la caracterización fisicoquímica de las emulsiones y, a continuación, se revisarán los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas de las membranas. Para las membranas A el contenido de sólido en la emulsión es del 50 %, a excepción de las poliméricas que solo contenía un 30% de sólidos, y finalmente por incorporación de carga y otros aditivos quedaban en un rango de contenido de sólidos de entre el 65-68 %, se ajustó la viscosidad dentro de un rango comercial entregado por las recetas, entre 45000-67000 cp, también se ajustó el pH entre el rango de 7,5-9,0 pudiéndose esto mostrar en la Tabla N°6. [53,54]

Tabla N°6: Tabla de resultados para las características fisicoquímicas de las membranas con receta A.

Membrana A	Contenido de sólidos (%)	Viscosidad (Cp)	pH
Mowilith LDM 6137	67,0	52000	7,9
Mowilith DM 765	67,2	45000	8,9
Mowilith LDM 6481	67,3	57200	8,9
Mowilith LDM 6440	65,0	49800	8,8
Mowilith LDM 7901	67,8	45200	8,8
Mowilith LDM 2442	67,0	52000	8,2
Mowilith LDM 2494	68,0	62800	7,9
Mowilith LDM 9801	57,0	48550	9,3
Mowilith LDM 9806	58,5	48700	9,4
Moviplus Top LNA	55,5	45000	8,5

Para las membranas B, su contenido de sólidos es del 30% en las emulsiones. Sin embargo, el contenido de sólidos y viscosidad tiene que ajustarse al mismo rango comercial que la receta A, por lo cual, se agregó mayor contenido de carga, que es más barato que la emulsión, probando que tuviera resultados similares en las pruebas de absorción de agua y esfuerzo mecánico a las membranas A, pero con un valor económico más reducido, la Tabla N°7 resumen las características fisicoquímicas de la membrana B. [54]

Tabla N°7: Tabla de resultados para las características fisicoquímicas de las membranas con receta B.

Membrana B	Contenido de sólidos (%)	Viscosidad (Cp)	pH
Mowilith LDM 6137	66,4	53600	8,8
Mowilith DM 765	65,8	45500	8,7
Mowilith LDM 6481	67,0	45800	9,3
Mowilith LDM 6440	65,0	52400	8,9
Mowilith LDM 7901	66,9	56800	9,0
Mowilith LDM 2442	64,9	50000	8,2
Mowilith LDM 2494	67,2	60200	9,4

5.4 Determinación de la absorción de agua por inmersión en las membranas poliméricas.

En la Figura N°17 muestra las Membranas A, donde se observa que las emulsiones de naturaleza poliuretánica son las que presentan menor absorción de agua, lo cual se esperaba debido a que el poliuretano es ampliamente usado para la manufacturación de impermeabilizante, en vista que la estructura del poliuretano, (Figura N°5), presenta el benceno como uno de los monómeros de su estructura, lo que anteriormente se explicó en el punto 5.2.2, da una alta hidrofobicidad, siendo el mejor entre los poliuretanos, el impermeabilizante con la emulsión Moviplus Top LNA.

En las Figura N°17 y N°18, se puede observar que las membranas a base de emulsiones estireno-acrílicas, tiene un nivel bajo de absorción de agua, valores menores al 50%, a excepción de la membrana con la emulsión Mowilith LDM 6137, la cual se puede deber a que en su preparación tienen mayor contenido de aire, quedando con mayor cantidad de poros, los cuales absorben agua por capilaridad.

En las membranas con emulsiones vinil-veova-acrílicas, los valores también se encuentran por debajo del 50% de absorción de agua. Sin embargo, en la figura N°18 al ser los resultados de la membrana B que presenta un menor porcentaje de sólidos en la emulsión (30%) que la membrana A (50%), su película es más porosa tendiendo una mayor absorción de agua debida al fenómeno de capilaridad, explicado con mayor detalle en el punto 5.6.

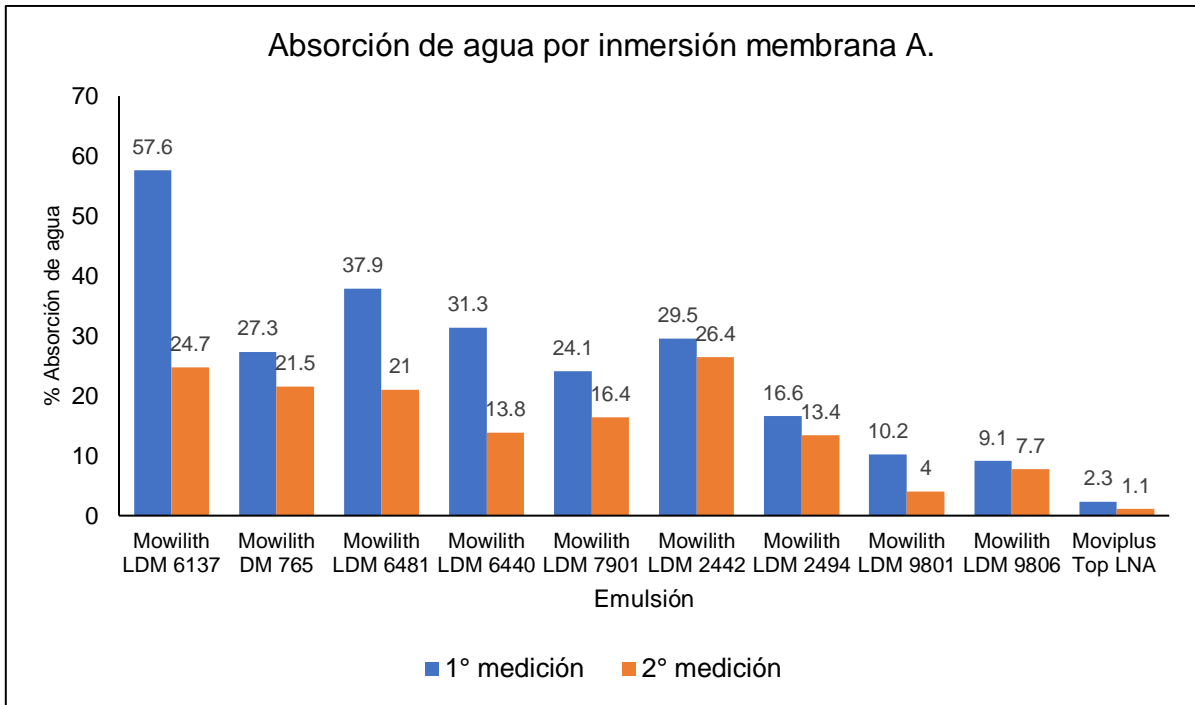


Figura N°17: Absorción de agua por inmersión versus emulsión.

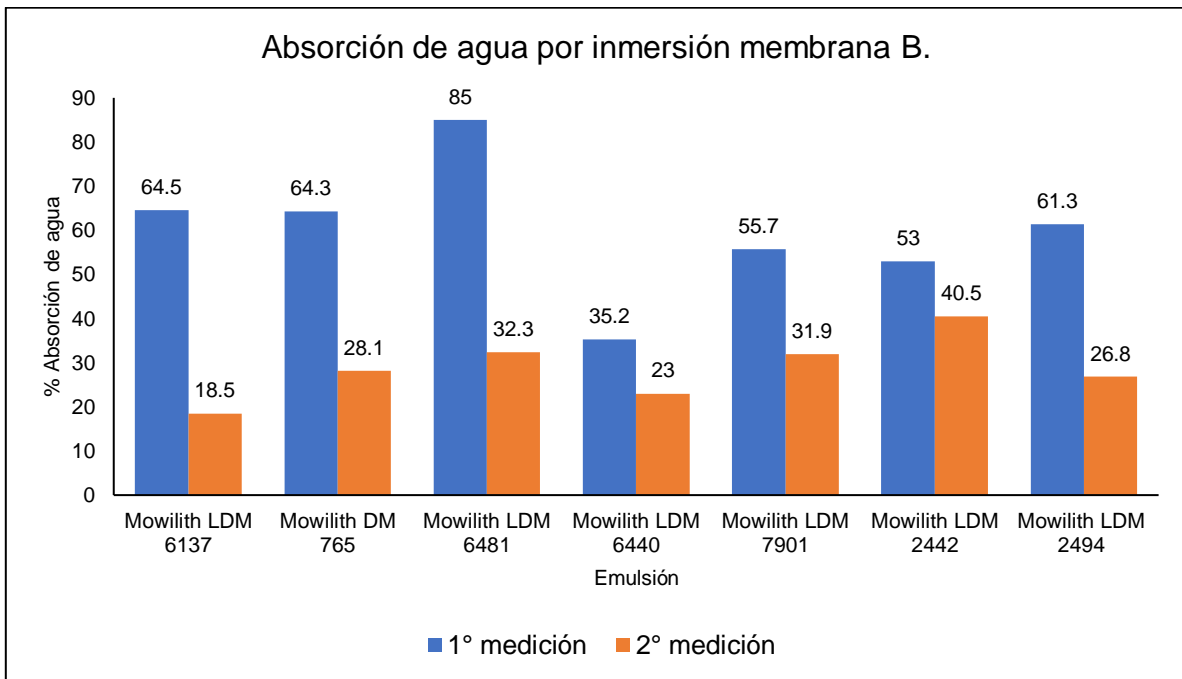


Figura N°18: Absorción de agua por inmersión versus emulsión.

La formación de una película uniforme menos porosa también tiene que ver claramente con la absorción de agua, debida a que en las membranas existe mayor

cantidad de aditivos que rellenan esos espacios. Esto explica porque las emulsiones poliuretánicas en las membranas tienen mejores resultados que cuando se evalúan sin el resto de los componentes, puesto que la gota de agua que se forma sobre el film no moja la superficie, demostrando así un comportamiento hidrofóbico. Ya que la gota mantiene una forma cuasi-esférica como si estuviera envuelta sólo de aire. Además, debido a que hay muy pocos puntos de contacto, es muy fácil que la gota se desplace sobre la película polimérica rodando en lugar de deslizándose. Esto depende de manera clave del ángulo que se forme entre la molécula de agua y la superficie; En las membranas compuestas por monómeros hidrófobos, que no ejerce la menor atracción sobre las moléculas del líquido, la gota se comporta como una esfera, a pesar de sentir la atracción gravitatoria, de modo que su superficie de contacto es muy pequeña, tomando la siguiente representación sobre la superficie de la película en la Figura N°19. [75,76]

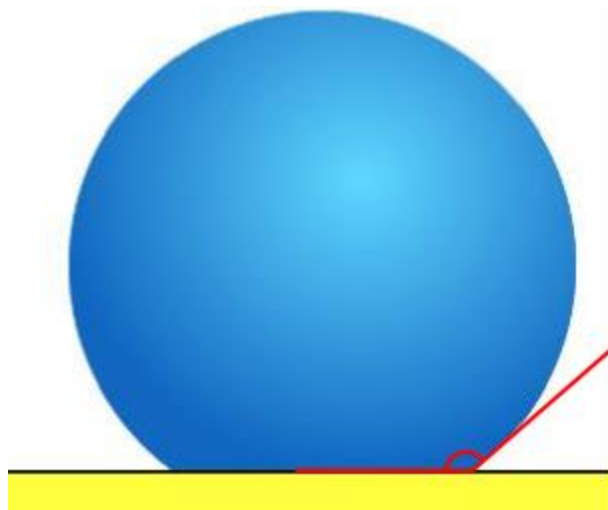


Figura N°19: Gota cuasi-esférica.

Respecto a las emulsiones de naturaleza vinil-veova-acrílico, presentan resultados de absorción de agua mejores que los estireno-acrílicos, deduciendo que la razón es la misma que las emulsiones poliuretánicas, se forman unas películas con menor grado de porosidad debido a que ahora se agrega carga y pigmentos a la composición de las membranas. Por otra parte, es importante que al presentar el monómero veova se puede dar cuenta del efecto “*umbrella*”, que consiste en la protección del grupo éster de ser hidrolizado, debido a la estructura de carbono, altamente ramificada, esto se puede ver en la figura N°20, aportando un menor grado de absorción de agua. [77-80]

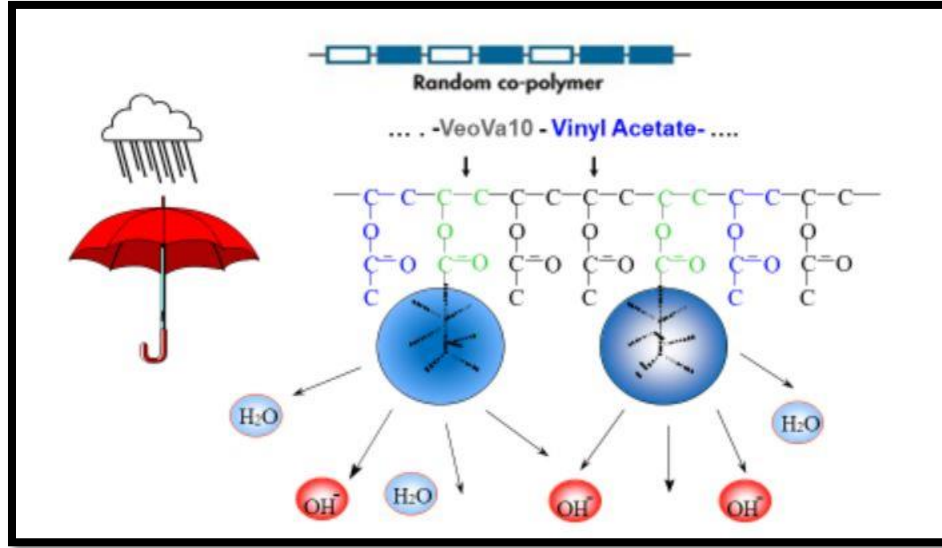


Figura N°20: Efecto *Umbrella* sobre los grupos acetatos por los grupos de éster vinílicos del veova 10. [77]

Por último, las membranas con emulsiones estireno-acrílicas si bien no son las con mayor absorción de agua, tampoco difieren mucho los resultados con las vinil-veova-acrílicas. Destacándose el impermeabilizante con la emulsión Mowilith DM 765, explicado este resultado en el punto 5.2.2.

5.5 Porcentajes de elongación de películas secas de las membranas.

Las membranas elásticas tienen finalidades múltiples y una de ellas es su elasticidad asociada a su protección impermeabilizante, dado que una fisura en ellas a causa de movimientos mecánicos provocaría una absorción de agua por parte del sustrato. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las diferentes emulsiones testeadas con diferentes tipos de fórmulas.

5.5.1 Porcentaje de elongación de películas secas de la membrana A.

Una de las propiedades mecánicas más importantes en la preparación de una película polimérica es la capacidad de elongación, por lo que la variable individual más importantes a ser considerada en la elección del o de los monómeros a utilizar es la temperatura de transición vítrea (T_g), la cual fue definida con anterioridad, es un parámetro que puede dar indicios de la elongación que tendrá el polímero. Las T_g más altas, el polímero es más rígido y por lo tanto menor porcentaje de elongación. Si bien es cierto, la T_g es un indicador sobre la elasticidad del polímero, es necesario considerar a los monómeros reticulantes, lo cual tiene una gran

influencia en las propiedades de aplicación de una dispersión, tales como la elasticidad, en virtud de que durante la polimerización se lleva a cabo la formación de redes de polímeros en las partículas. [13,14]

Los sistemas formulados a partir de ligantes plastificados internamente sin reticulación, ofrecen unos niveles más altos de elasticidad, aunque en algunos no se llega a cumplir la exigencia actual y además se pueden presentar problemas de ensuciamiento debidos al alto Tack residual y a la elevada termoplasticidad que pueden tener este tipo de dispersiones. La termoplasticidad se entiende como la facilidad de reblandecimiento del material bajo el efecto de la temperatura, por ende, se han desarrollado ligantes que, debido a su reticulación, disminuyen su termoplasticidad, aumentando su Tg, ya que en los reticulantes forman puentes de unión entre las moléculas poliméricas, convirtiendo los polímeros termoplásticos en termo endurecibles, conocido como reticulación química. [13, 81-83]

Es importante destacar que la mayoría de los polímeros considerados, en este trabajo, mantienen su nivel de flexibilidad en ambas temperaturas testeadas (5°C y 25°C), esto se explica precisamente por el valor de las temperaturas de transición vítrea (Tg), no son superior a 20 °C, en la Figura N°4, se puede ver las Tg individuales de cada una de las emulsiones.

En épocas de verano, cuando en algunos lugares de Chile se alcanzan 40°C o más, expuestos al sol, productos sin reticulantes mostrarán tendencia a elongares debido a su termoplasticidad (lo cual puede llevar a la aparición de ampollas cuando una caída de temperatura se produce, debido a una insuficiente flexibilidad del material). La utilización de un polímero que incluye reticulación química reduce la termoplasticidad del recubrimiento resultante, creando una red dentro de la masa del recubrimiento, la cual torna al producto menos susceptible a las fluctuaciones de temperatura, esto se puede representar de mejor manera de forma gráfica, (Figura N° 21), donde en resumen los productos que no presentan reticulación interna, la elongación se incrementa con el aumento de la temperatura. [13]

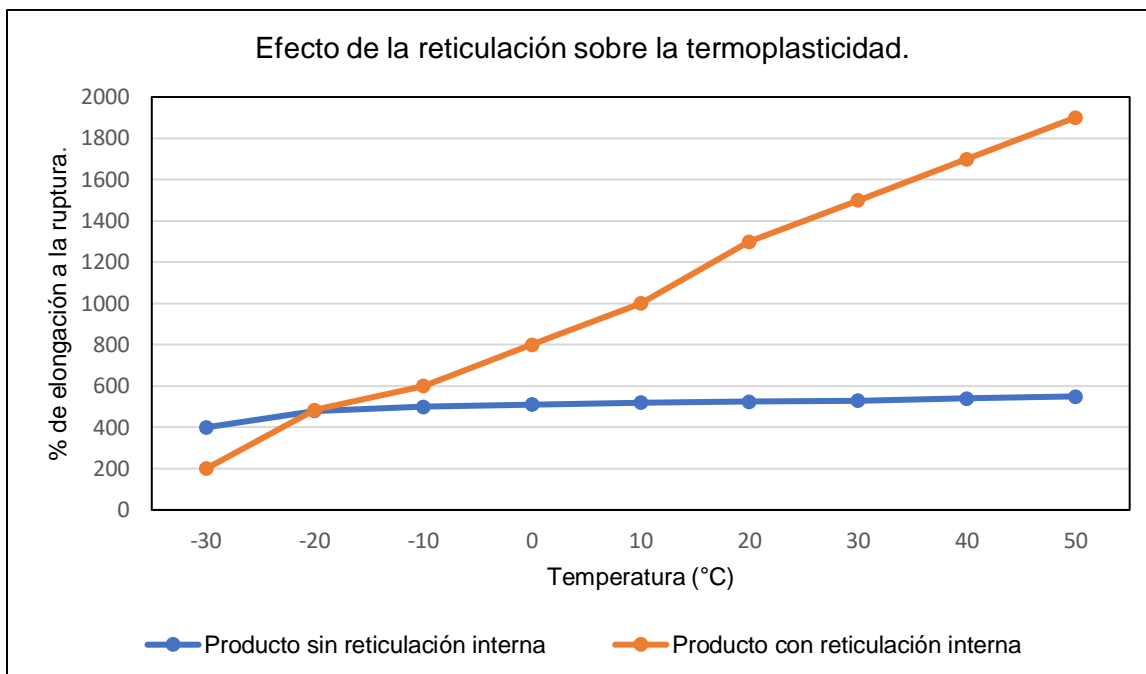


Figura N°21: Porcentaje de elongación versus temperatura. [1]

Además del reticulantes químico existen de otro tipo que se usan actualmente ejemplo de ello en la emulsión Mowilith LDM 7901, se usa la reticulación UV, la cual actúa en secado a la intemperie, reduciendo al mínimo el Tack residual de la superficie y consecuentemente el ensuciamiento sin modificar las propiedades mecánicas del polímero. Esto puede verse en cuanto al porcentaje de elongación que presenta en ambas temperaturas testeadas (Figura N°22). Es por esto por lo que incluso aunque la emulsión no presente el porcentaje de elongación más alto, debería ser usada como impermeabilizante de exteriores, ejemplo fachadas y techos. [13,84]

Por este motivo la reticulación interna debe hacer posible que el revestimiento sea menos susceptible a los efectos provocados por las fluctuaciones de la temperatura.

Una manera de certificar la calidad de una emulsión en el campo de la elongación es a través de una norma. En Chile no hay una normativa al respecto, pero en países europeos pioneros en abordar este tema es Francia, es por lo cual este trabajo se basó en la norma francesa NFP 84-404, donde el límite mínimo de dilatación elástica de un recubrimiento debería ser un 300% a temperatura ambiente y valores mayores o iguales a 100% a temperaturas cercanas a 0°C. [85]

De las emulsiones utilizadas a temperatura ambiente solo cuatro no alcanzan a cumplir el requisito mínimo de 300% de elongación, como se puede mostrar en la Figura N°22, las cuales son el Mowilith LDM 6481, Mowilith LDM 6440, Mowilith LDM 7901 y Mowilith 2442. Los cuales presentan las siguientes Tg: -8,-5 y -15 °C, lo que a primera instancia indicaría un porcentaje de elongación alto, pero las tres

emulsiones presentan la misma base química, estireno acrílico. El estireno es un monómero con una Tg de 100°C, lo que lo hace un monómero duro, debido al impedimento estérico proporcionado por el grupo benceno unido al vinilo, dando rigidez a la película polimérica, la parte blanda que baja la Tg es la parte acrílica, la cual tiene menor impedimento estérico al no tener grupos voluminosos. [35]

La diferencia principal entre estos tres sería la proporción monomérica presentada en cada uno, los que tengan una mayor flexibilidad, presentarían una cantidad mayor del monómero acrilato en su formulación. Sin embargo, el Mowilith LDM 7901 presenta una Tg menor que los otros dos y su elongación no es mayor, su explicación es debido a la presencia de reticulante en su polimerización.

El Mowilith LDM 2442 que presenta la mayor Tg (20°C) entre los que no cumplieron la norma francesa, se esperaría que fuera el de menor porcentaje de elongación, pero no es así, debido a la base química que presenta: vinil-veova-acrílica, la cual la parte vinil, en este caso vinil acetato, consiste en enlaces dobles carbono-carbono, formando polímeros $[CH_2-CR \cdot CR']_n-$, lo cual genera una difícil movilidad de las cadenas, explicando la rigidez de este monómero y su Tg (29 °C) .Sin embargo, la emulsión es un copolímero por ende también tiene una parte blanda que consiste en los monómeros de veova 10 y acrilato, en este caso acrilato de butilo, los cuales presentan un Tg de -2 y -54 °C respectivamente. Ambos poseen un grupo acrilato, que es un vinil unido a un éster, siendo la parte vinil reactiva y favoreciendo la polimerización, pero el veova 10 además del acrilato tiene un carbono con un metil y dos cadenas ramificadas unidas a él, lo que aporta una mayor rigidez que en el caso del acrilato de butilo, explicando su diferencia de Tg. Esta combinación polimérica da finalmente el valor de su Tg que influye en los resultados de elongación. No obstante, esta emulsión presenta también un reticulante, lo que haría ser una película polimérica más rígida. [13,35]

Desde el punto de vista de los que cumplen la norma son el Mowilith LDM 6137, Mowilith DM 765 y Mowilith LDM 2494. En la primera emulsión a pesar de poseer una base estireno-acrílica, y una Tg de 19 °C, su elongación queda ajustada al límite permitido, 302%, esto puede tener explicación, en contraparte de sus compañeras de igual base química, está no presenta reticulante y su porcentaje de monómero acrílico es mayor en su formulación. Para la emulsión Mowilith DM 765 es una base estireno acrílica, pero la diferencia principal es que su parte acrílica es 2-etilhexilacrilato (Tg -85), mientras que en los otros era acrilato de butilo (Tg, -54). Por lo tanto, el acrilato 2-etilhexilo le aporta mayor elasticidad, y por ende mayor porcentaje de elongación en la emulsión, por esto el Mowilith DM 765 es el segundo mejor tanto a temperatura ambiental y -5°C.

La mejor emulsión en ambas temperaturas medidas es el Mowilith LDM 2494, debido a que gracias a su base química explicada en el Mowilith LDM 2442, está

presenta mayor cantidad de acrilato de butilo, compitiendo de manera estrecha con el Mowilith DM 765. La diferencia, el Mowilith LDM 2442 no presenta estireno, el cual aporta mayor rigidez.

Para las emulsiones de base química poliuretánicas, se esperaba que tuvieran una elongación alta o al menos que sobrepase el límite para ambas temperaturas, lo cual no fue así, esto tiene su principal fundamento en la cantidad de sólidos que poseen, 30%, siendo que las demás emulsiones presentan un 50% de sólidos. Sin embargo, su preparación fue en base a la receta de membrana A (50%). La consistencia de sólidos se relaciona con la una buena coalescencia, es decir formar una película uniforme en el proceso de secado de la membrana, debido a que una merma en el contenido de sólidos genera una película con un grado alto de porosidad, donde se pueden encontrar burbujas de aire que hacen más susceptible al film de ser rasgado al someterlo a una fuerza de estiramiento. Esto se puede observar con mayor detalle en la Figura N°23.

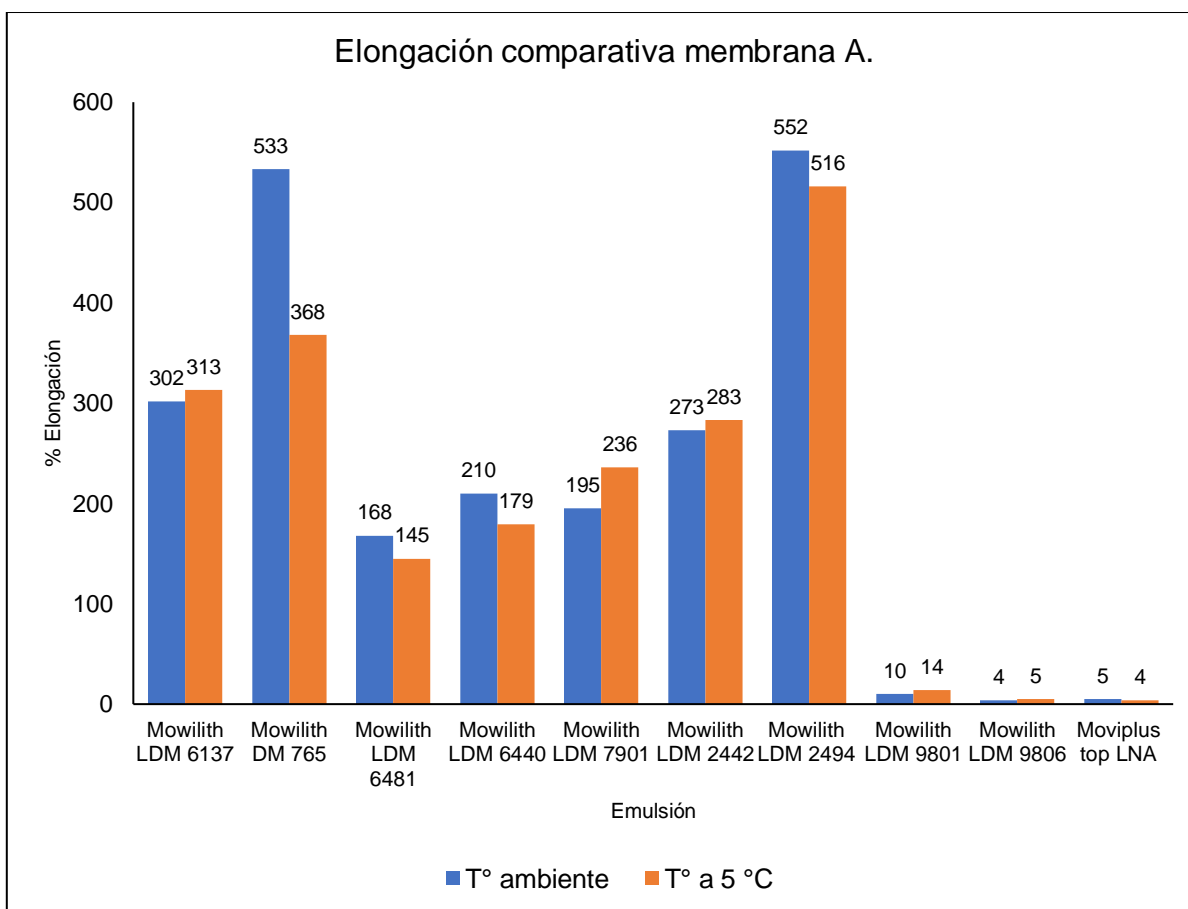


Figura N° 22: Porcentaje de elongación versus emulsión.

La temperatura de formación del Film (TMFF), está por lo general sobre la Tg, pero de igual manera debe ser baja para polímeros blandos. Esto tiene como consecuencia la formación de un film uniforme sin burbujas de aire en las

condiciones estándar de trabajo, es decir a temperatura ambiente. La Figura N°23 se puede ver claramente que según la proporción monomérica de la emulsión se tendrán un valor más bajo o alto de Tg y TMFF. [35]

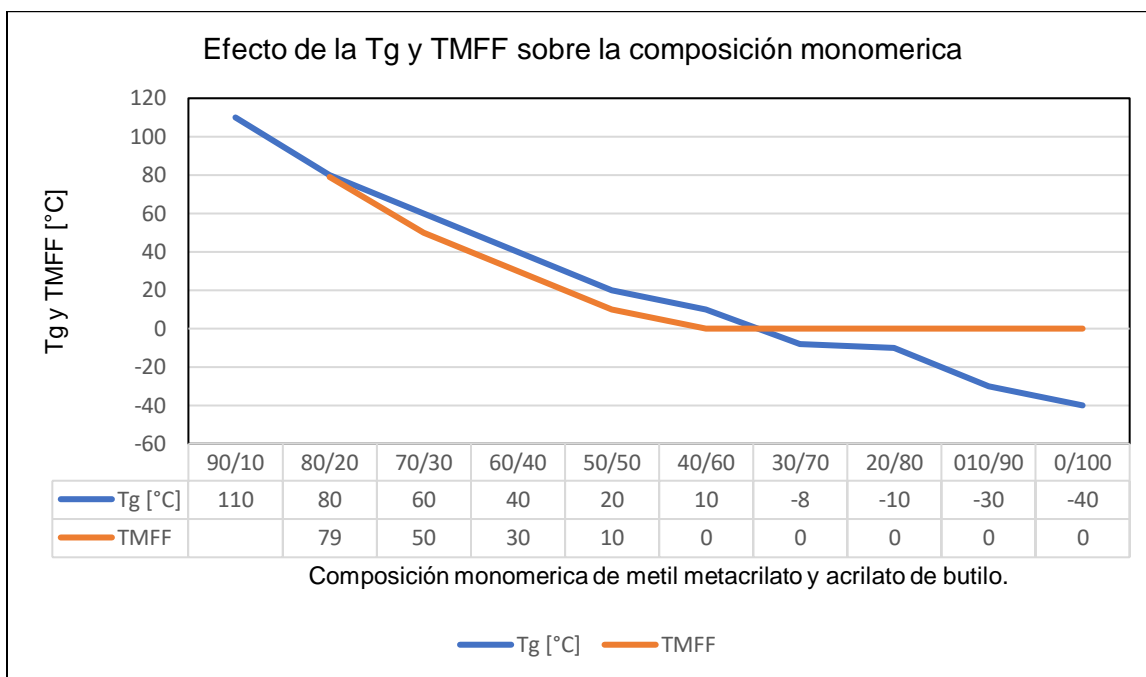


Figura N°23: Gráfico Tg y TFFM versus composición del copolímero en porcentaje de metil metacrilato y acrilato de butilo. [13]

5.5.2 Porcentaje de elongación de películas secas de la membrana B.

A partir de la Figura N°24 se puede ver claramente que los mejores porcentajes de elongación son las mismas que en la Figura N°22. Esto ocurre de igual manera para los que dieron deficientes, debido a que la proporción monomérica en cada emulsión no varía. Si bien esto es consecuente con lo esperado en la formulación de las membranas B, la elongación baja drásticamente debido a que una menor proporción de sólidos genera una película más porosa, por lo cual en el proceso de coalescencia no alcanza un nivel óptimo, por ende, se obtiene películas menos uniformes con mayor cantidad de aire en ellas y más factibles a quebrarse frente a un esfuerzo mecánico.

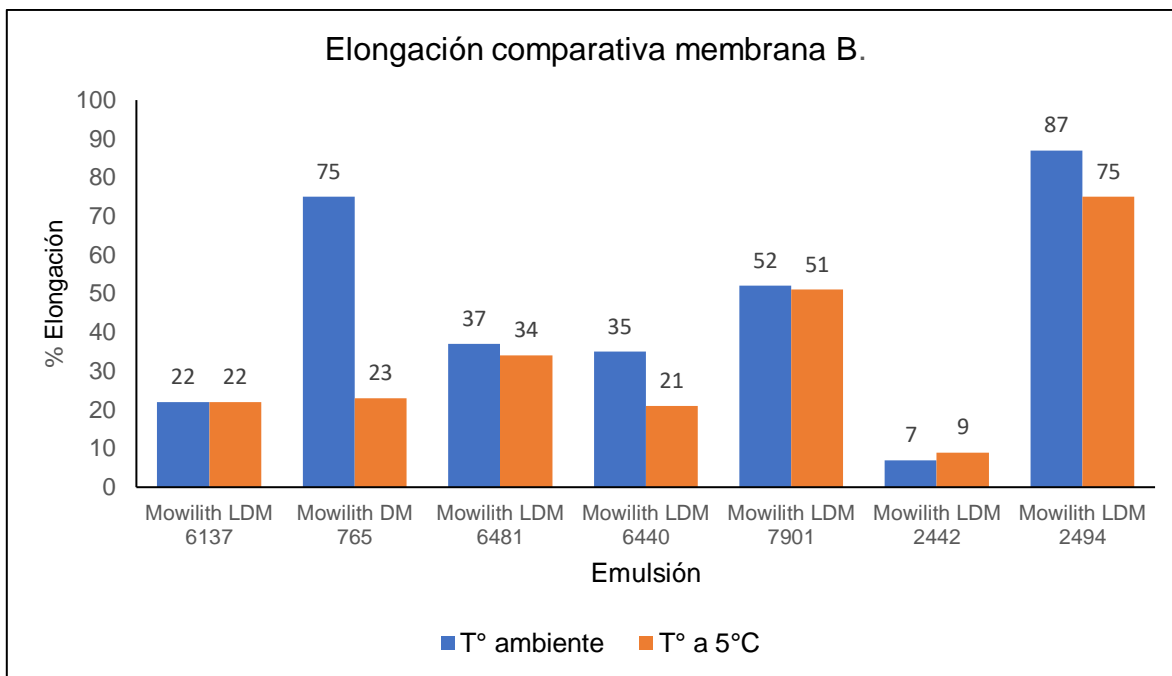


Figura N°24: Porcentaje de elongación versus emulsión.

5.5.3 Porcentaje de elongación comparativos para las diferentes temperaturas entre las membranas A y B.

Se puede ver de manera evidente en las Figuras N° 25 y 26, que la membrana A, presenta en todos los casos una elongación de hasta 6 veces más alta que en la membrana B. Las membranas fueron aplicadas como un film de 800 µm, lo que asimila una capa de pintura que se comporta como un resorte elástico oponiendo resistencia a la deformación y volviendo a su posición original una vez que la fuerza fue retirada. Está elasticidad queda demostrada que la otorga el monómero, por ello las diferencias entre la receta A y B.

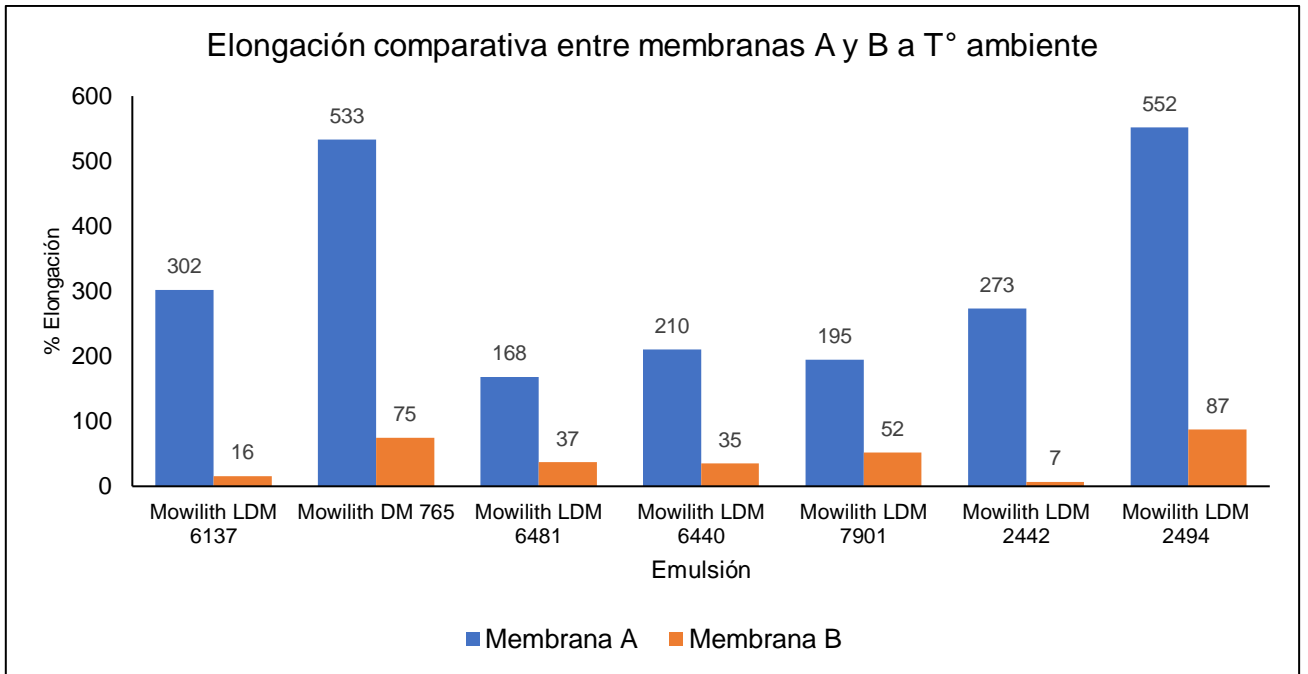


Figura N° 25: Porcentajes de elongación comparativo versus emulsión.

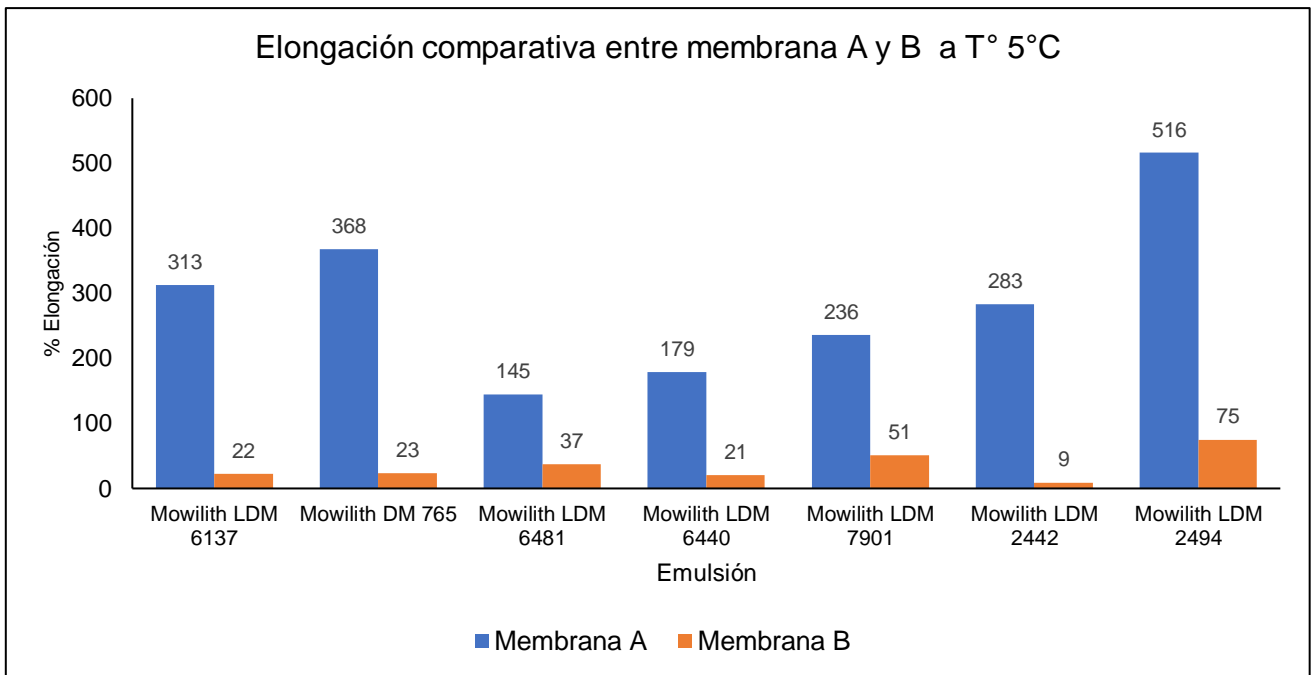


Figura N° 26: Porcentaje de elongación comparativo versus emulsión.

5.6 Absorción de agua a través de probetas Karsten.

La absorción de agua se mide utilizando probetas Karsten, estas probetas miden la penetración de agua en distintos sustratos, proporcionando información precisa sobre la cantidad de agua que penetra en el material, por tiempo y unidad de superficie. Las mediciones realizadas con la probeta karsten, nos entrega información de cómo se comporta el impermeabilizante con respecto al contacto con el agua y al sustrato. [55,86]

Anteriormente se mencionó los severos daños a las estructuras de los inmuebles causados por la presencia de humedad, por ello debe evitarse que el agua tenga un contacto directo con los materiales de construcción. El mecanismo por el cual el agua se absorbe en los materiales es la capilaridad, esto se explica a través de la adhesión del agua. La adhesión es la atracción de moléculas de un tipo por moléculas de otro tipo, y para el agua esta atracción es significativamente fuerte, especialmente cuando las otras moléculas tienen cargas positivas o negativas. Esta adhesión permite que el agua ascienda a través de delgados espacios con forma de tubos, a los cuales se llama capilares, que se presentan en todo tipo de materiales. Este movimiento ascendente en contra de la gravedad, conocido como capilaridad, depende de la atracción entre las moléculas de agua y las paredes de los tubos internos del material (adhesión), así también como de las interacciones entre las moléculas de agua (cohesión). [38]

Las fuerzas atractivas dan como resultado una gota de agua esférica que minimiza el área de la superficie; Las fuerzas cohesivas mantienen unida la esfera, esto se puede observar en la Figura N° 27. Las fuerzas adhesivas mantienen la gota pegada a la red de los “tubos internos del sustrato”. [38]

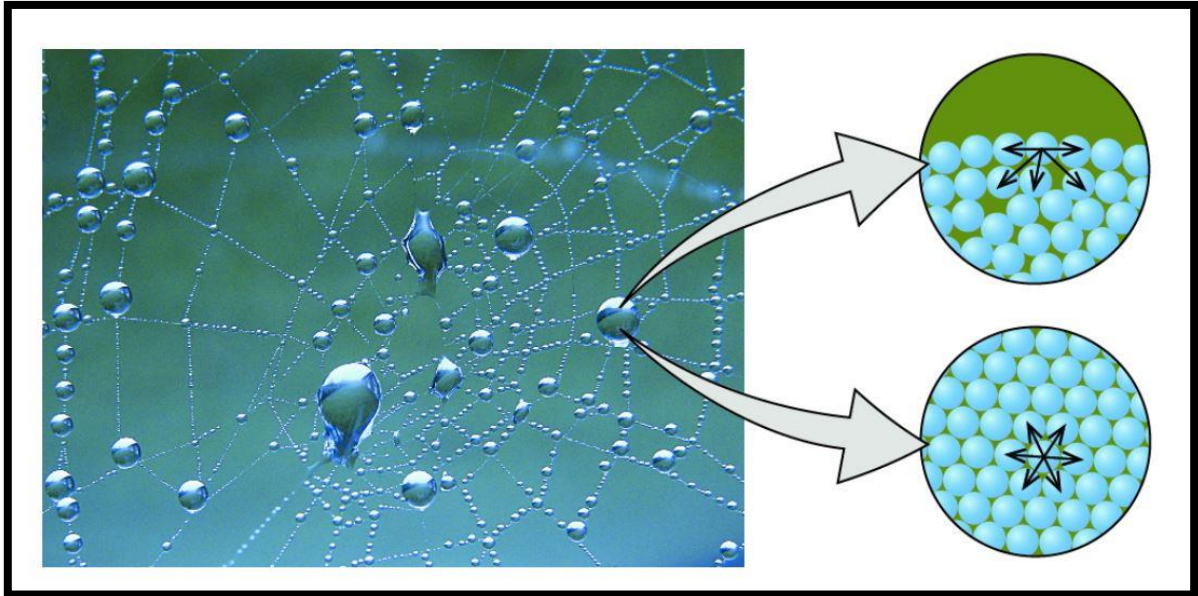


Figura N°27: Fenómeno de adhesión y cohesión de las moléculas de agua.[38]

La forma de la esfera presenta variaciones dependiendo de cómo se encuentre la superficie del sustrato. Esto se puede observar en los resultados de las membranas B, al tener menor cantidad de activos en las emulsiones, (reducidas al 30% en sólidos), se forma una película polimérica con mayor porosidad, menos uniforme, lo que se traduce en una cantidad mayor de intersticios en ella y el fenómeno de capilaridad se da en mayor grado que en la membrana A, por lo tanto su absorción es siempre mayor que en la caso de las membranas A, pudiendo apreciar estos resultados en las figuras N° 28 y 29.

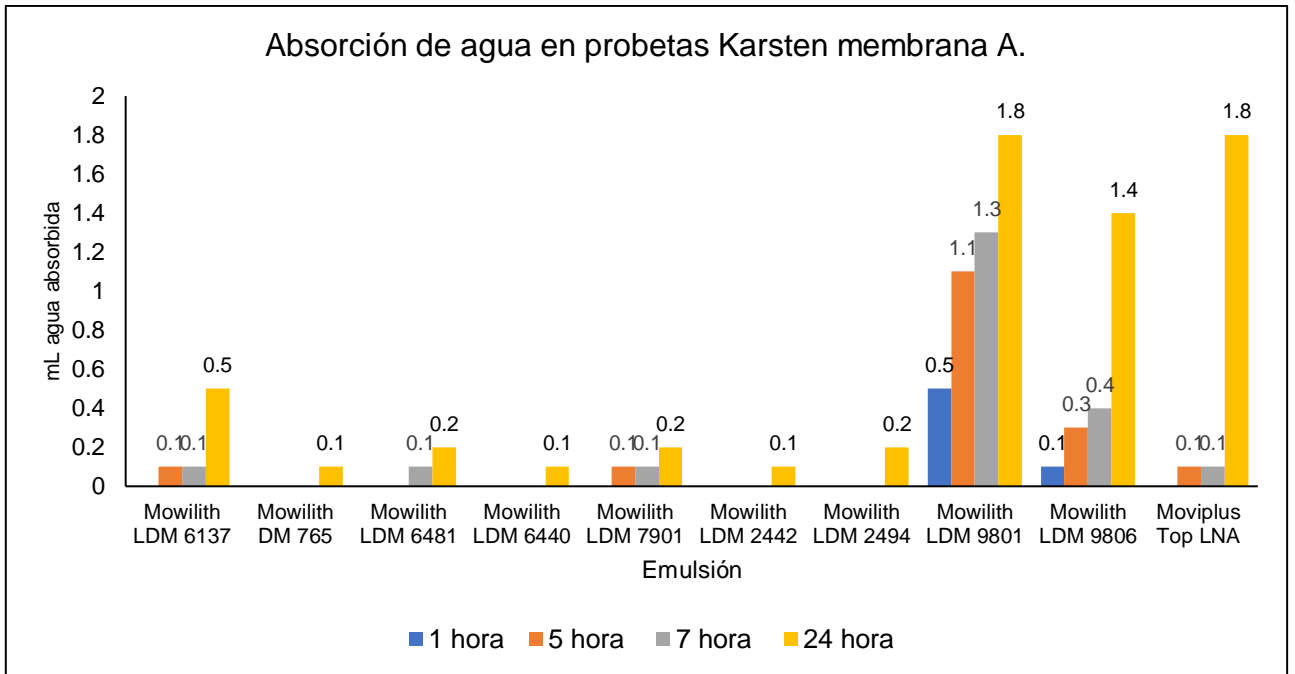


Figura N° 28: Absorción probetas Karsten versus emulsión.

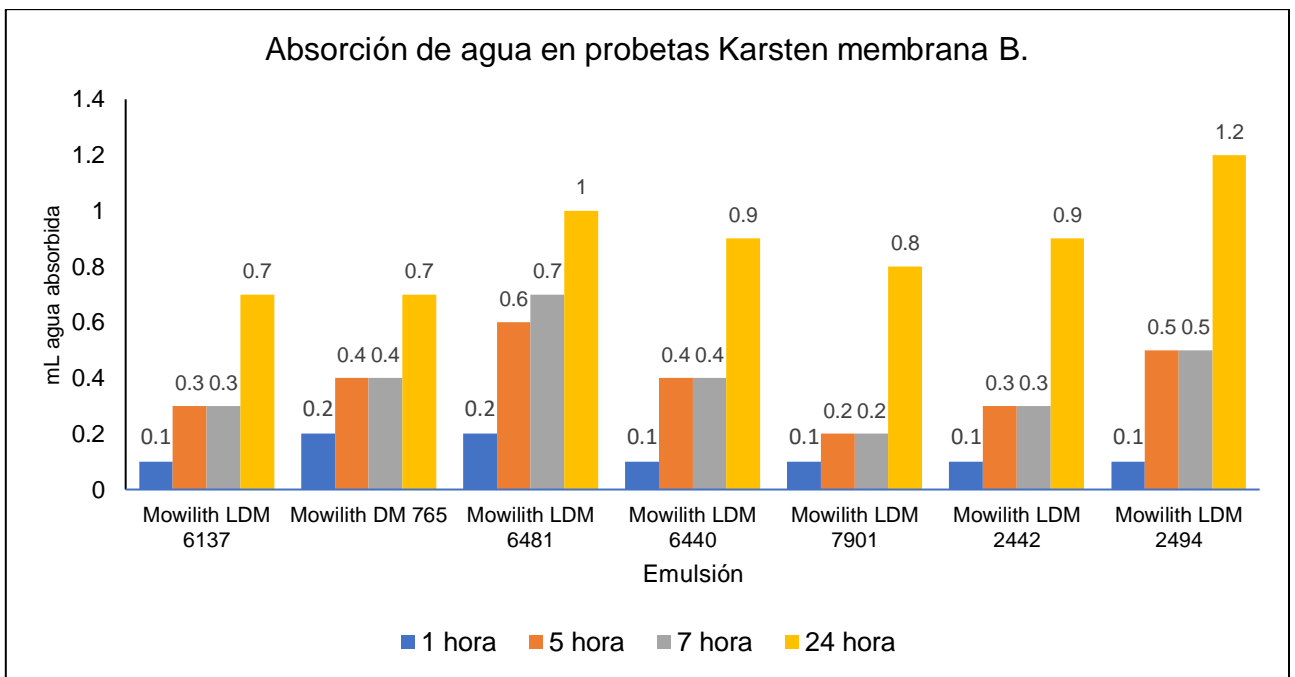


Figura N°29: Absorción por capilaridad mediante probetas Karsten en membrana B.

Se puede denotar que el uso de ligantes poliméricos estirenos acrílicos muestra realmente una reducción de absorción de agua significativa, debido a lo explicado en los puntos 5.2.2 y 5.4 lo que predice que tendrán una efectividad como barrera al paso de agua y por lo tanto serán una mejor barrera y protección de los sustratos tratados con ellos. Lo importante, además, es que se observa este comportamiento en ambas formulaciones, membranas A y B.

Las membranas con polímeros vinil-veova-acrílicos y estireno-acrílicas presentan valores similares, como se muestra en la Figura N° 28 y 29. No obstante, las emulsiones con mejores resultados son Mowilith DM 765 y Mowilith LDM 2442, ambas presentan un 0,1 mL de absorción de agua en 24 horas en la membrana A. La primera emulsión es de base química estireno-acrílica, donde la parte acrílica contiene el monómero acrilato 2-etilhexilo, lo que aporta una mayor hidrofobicidad en comparación con el acrilato de butilo, el cual se encuentra presente en el resto de las emulsiones estireno-acrílicas. El Mowilith LDM 2442 se deduce que posee una mayor cantidad de Veova que su contraparte (Mowilith LDM 2494), en el punto 5.4 se explica el efecto "*Umbrella*" del monómero veova 10, lo que genera una repelencia al agua de mayor grado.

Los polímeros con base poliuretánica, si bien presentan el monómero poliuretano, en la formulación de las membranas A, su contenido de sólidos en la emulsión no cumple con el 50% pedido por las recetas, lo que genera una película porosa que justifica una mayor cantidad de agua absorbida. Por su elevado costo, no justifican su empleo, al menos como ligantes únicos en las formulaciones de membranas.

5.7 Absorción de agua mediante esponja saturada.

La absorción de agua mediante esponja saturada tiene una función similar al ensayo de probetas Karsten. La absorción de agua ocurre por capilaridad, solo que en este caso la presión es del sustrato sobre una esponja con agua, por lo que la absorción de agua es mayor debido a que hay mayor área para que el agua penetre.

De las Figuras N°30 y N°31, se puede observar que los resultados obtenidos en el ensayo de probetas Karsten varían, dado que ahora existe una mayor área expuesta del sustrato a la absorción de agua, pero de todas maneras se mantiene las propiedades de las emulsiones referentes a los monómeros ocupados en su formulación discutidos en los puntos anteriores. Sin embargo, la absorción de agua también está supeditada a el tipo de surfactante ocupado en su fabricación. Los cuales poseen una función dual, generando sitios para formación de partícula (micelas) y proveyendo de estabilidad coloidal a las partículas en crecimiento. En términos simples las propiedades que otorga son la reducción de la tensión

superficial e interfacial, solubilización micelar, modificación del mojado y formación de espumas. Además, son considerados el sistema estándar que se emplea para las dispersiones acrílicas y en las dispersiones vinílicas modernas, en vista de esto se entienden como productos orgánicos con una parte hidrofílica y otra hidrofóbica. En general, se compone el sistema de un emulsionante aniónico con otro no iónico. Un grupo de emulsionantes muy usados y eficaces son del tipo alquifenol etoxilados llamados APEO, el cual se puede apreciar su estructura química en la Figura N°32. [18,87,88-92]

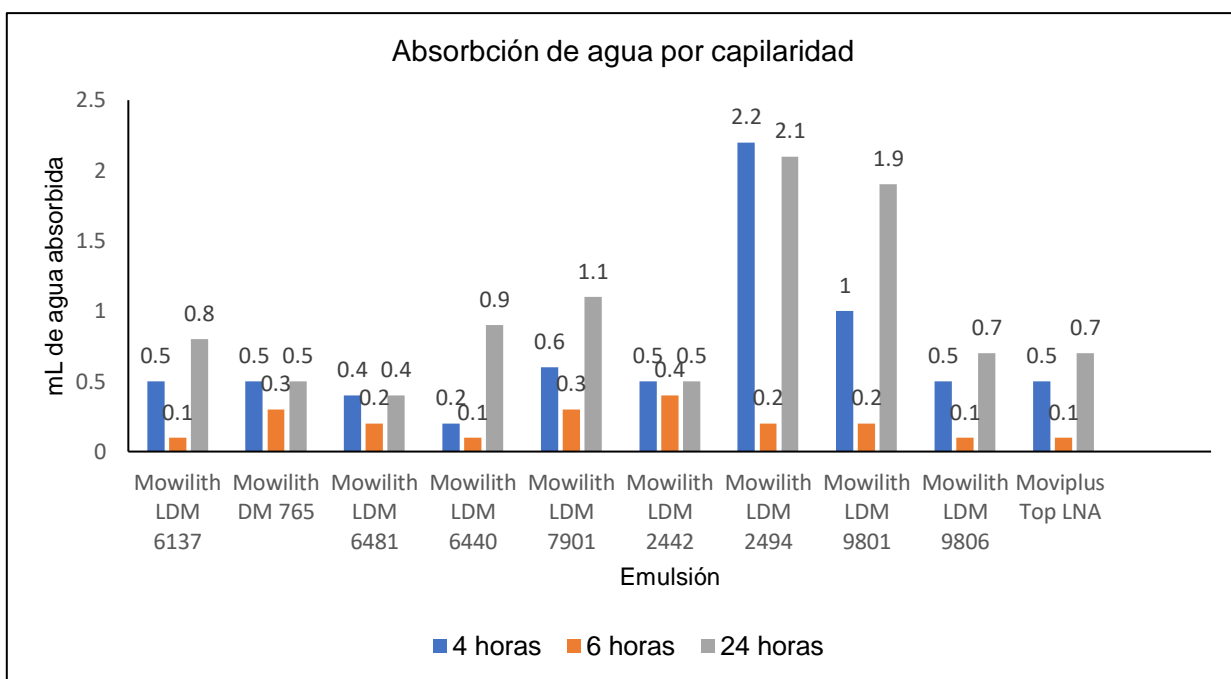


Figura N°30: Absorción de agua esponja saturada versus emulsión.

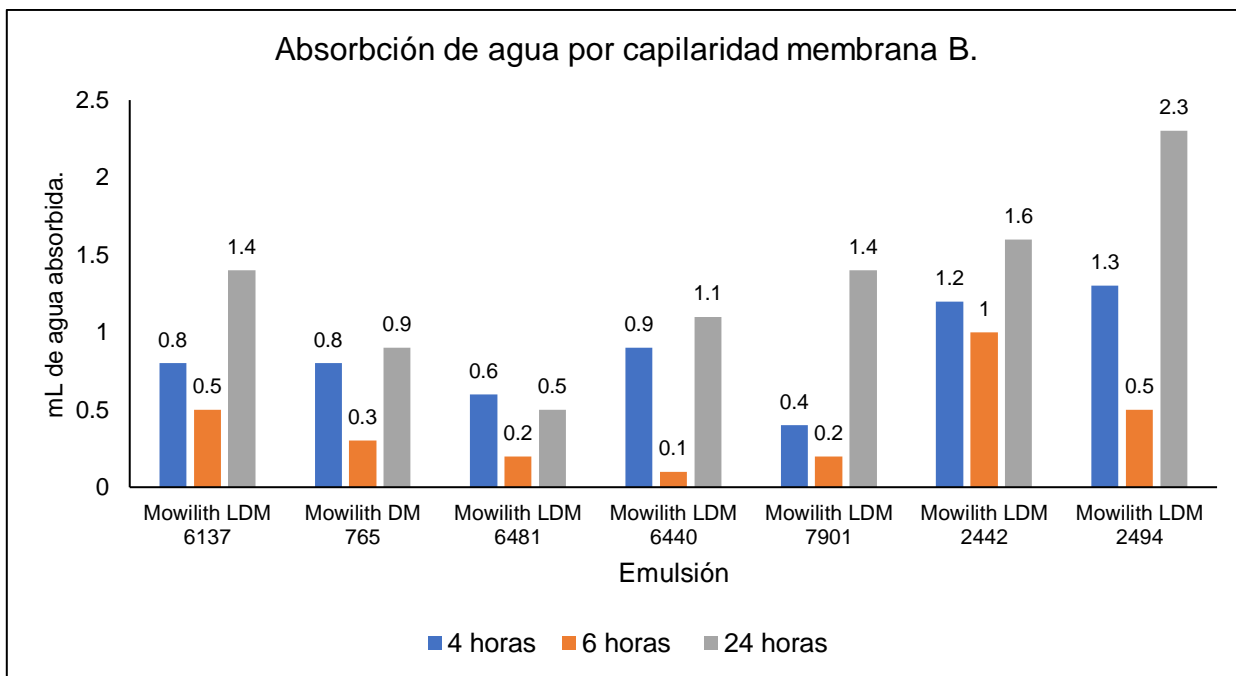


Figura N°31: Absorción de agua mediante esponja saturada versus emulsión.

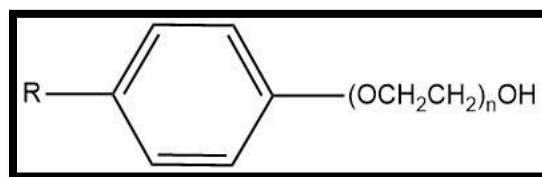


Figura N°32: Estructura química del alquifenol etoxilado.

Dentro de los más importantes APEO en la industria son los nonilfenol etoxilado, NPEO, y octifenol etoxilado, OPEO, por sus siglas en inglés, debido a sus propiedades de surfactantes. Si bien la función en si misma del emulsionante es mostrada en la filmificación del polímero, en este proceso de secado, se separan los emulsionantes del polímero, quedando atrapados en el film del producto terminado. Estos emulsionantes dan una hidrofilia inicial al recubrimiento, pero son extraídos al rehumectarse los productos. El agua transporta los emulsionantes a la superficie y el recubrimiento aumenta su carácter hidrofóbico, por ello las emulsiones que poseen estos emulsionantes presentan mejor carácter hidrofílico, ejemplo de ello son las emulsiones Mowilith DM 765 y Mowilith LDM 6481 y Mowilith LDM 2442 las cuales tanto en membranas A y B dan un valor menor que el resto en porcentaje de absorción de agua y ambas presentan APEO dentro de su formulación. [18,92]

La que presenta valores más elevados de absorción de agua es Mowilith LDM 2494, la cual si está libre de APEO. Sin embargo, los valores no distan mucho uno de otro, por lo cual nos dice que lo más importante es la naturaleza de sus monómeros.

Respecto a los poliuretanos sus valores son un poco más cercanos al resto de los valores con emulsionantes de naturaleza APEO, en virtud de esto se dice que tiene un buen comportamiento hidrofóbico.

No obstante, la elección de un emulsionante libre de APEO, otorga beneficios para el medio ambiente, investigaciones respecto a estos compuestos han dado cuenta que pueden imitar a las hormonas naturales de los seres vivos y que los niveles presentes en el ambiente pueden ser suficientes para interrumpir la función endocrina en la vida silvestre y los seres humanos. [93]

Científicos encargados de ver la biodegradación de estos compuestos, han dado cuenta que se encuentran en un gran porcentaje en descargas de aguas residuales y efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales, por lo cual en el algún punto llegarán cauces de ríos o directamente al océano. En los peces se ha demostrado que causan la feminización de los peces machos, afectando al apareamiento y el número poblacional de estas especies. Además de ello existe una bioacumulación en estos organismos que por cadena trófica afectaría al ser humano, produciendo inferencias con el mecanismo del cuerpo para la regulación de hormonas. [94,95]

5.8 Permeabilidad al vapor.

El impermeabilizante debe ser permeable al vapor, ya que cuando se produce vapor de agua, la condensación que se forma en la parte inferior del impermeabilizante, hace que el recubrimiento se ampolle y que eventualmente, se rompa; por esta razón, la permeabilidad es una cualidad esencial que debe tener cualquier impermeabilizante.[1]

La permeabilidad al vapor de agua se define como el paso de la humedad debajo del recubrimiento seco pueda salir. Según bibliografía, los valores entre 30 y 45 $\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ son aceptados y garantizan que no ocurra ningún problema con formación de ampollas en la película polimérica causada por la humedad que viene a través del sustrato. [2,3 y 4]

Los resultados de la membrana A y B se resumen en las figuras N° 33 y 34. Los valores mostrados son los esperados, para las membranas A la permeabilidad al vapor es menor que en las membranas B, puesto que las membranas A contiene mayor cantidad de sólidos (50%) en las emulsiones que la B (30%). Para las emulsiones poliuretánicas como se dijo anteriormente no alcanza a tener una

cantidad de sólidos del 50%, por lo que su película polimérica es más porosa permitiendo un mayor paso de vapor de agua y por ende explicando la diferencia de valores con las otras emulsiones.

Otro de los parámetros que afecta los valores del ensayo son la composición de las emulsiones, debido a que su razón monomérica otorga características como la TMFF, lo cual predice si la formación del film será de manera uniforme a determinadas temperaturas. Las emulsiones como el Mowilith 2442 presentó mayores valores de permeabilidad al vapor, incluso sobre los aceptados por el método, esto se deduce en gran parte al valor de formación de film, 20 °C. A mayores temperaturas de formación de film, existen mayores probabilidades que en climas fríos o en épocas de invierno se forme una película no uniforme y con mayor cantidad de poros, permitiendo una impermeabilización deficiente, debido a que el agua podría penetrar a través de ellos.

Los lugares que presenten de manera reiterada fenómenos de condensación, se busca una película lo suficientemente porosa para que se permita la salida de agua a través de ella, puesto que en lugares como una cocina o donde la aislación térmica es deficiente se manifiesta en mayor medida la humedad por condensación, lo cual ofrece el ambiente perfecto para el desarrollo de hongos, suceso que atentan contra el bienestar de los usuarios que habitan el inmueble. [5,6]

Finalmente, el tamaño de partícula que aporta la emulsión tiene una relación estrecha en cuanto a la porosidad de un film, a tamaño de partículas menores, se obtiene un recubrimiento de menor porosidad, debida a que su coalescencia es de mejor rendimiento. Los Mowilith LDM 6137, Mowilith DM 765 y Mowilith 6481 presenta un tamaño de partícula entre los 0,17 y 0,2 μm , los cuales tuvieron casi iguales valores de permeabilidad. En tanto la emulsión Mowilith LDM 2494 presento el mayor tamaño de partícula, 169 nm, también fue la de mayor valor en los resultados mostrados en la Figura N°33 y 34. Para las emulsiones poliméricas por ser del extranjero no se tienen sus hojas técnicas, ni información respecto al tamaño de partícula, pero se deduce que su valor va en directa relación con el contenido de sólidos en la membrana. [7,8,9,10,11,12]

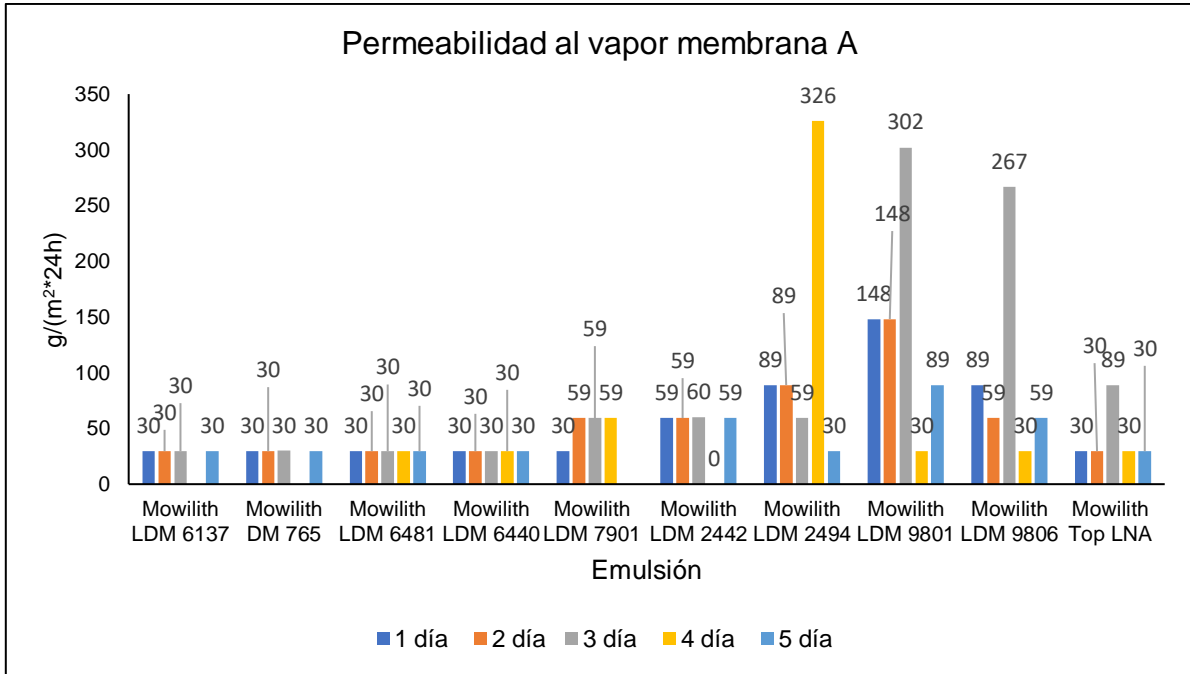


Gráfico N°33: Gramos de agua perdidos por metro cuadrado por cada 24 h versus emulsión.

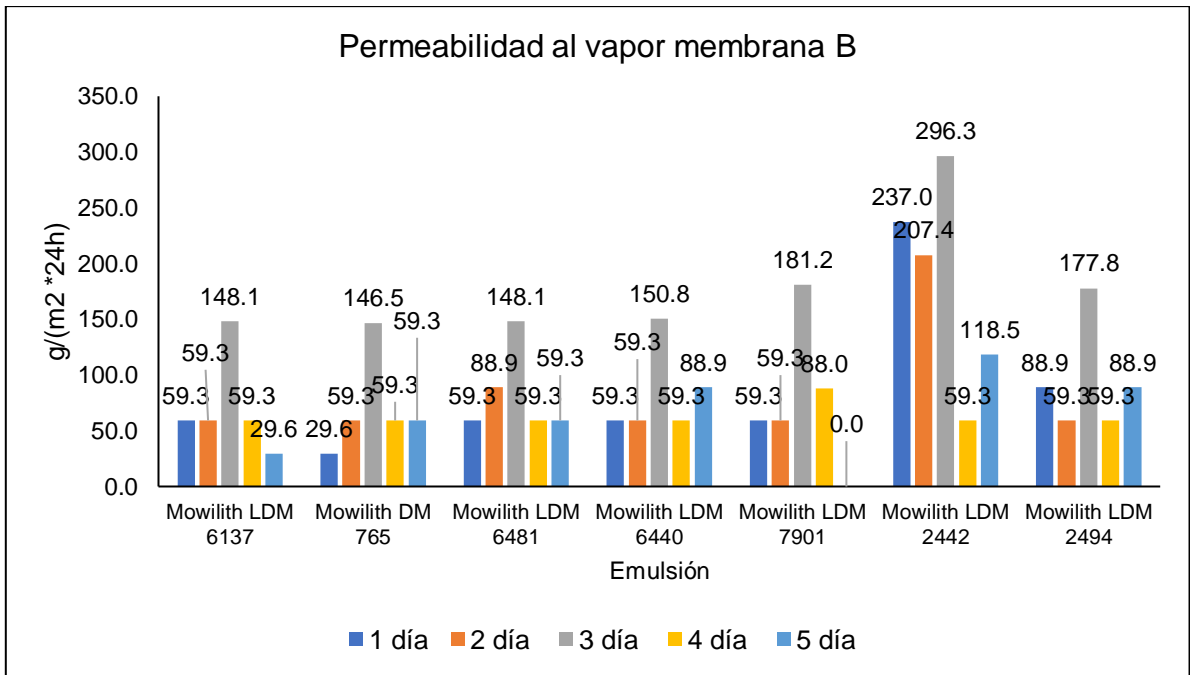


Gráfico N° 34: Gramos de agua perdidos por metro cuadrado por cada 24 h versus emulsión.

Con base a lo anterior la membrana B presenta valores mayores de permeabilidad al vapor, siendo la emulsión Mowilith LDM 2442 la de mejor rendimiento en el

ensayo. Se podría impulsar a ocupar esta emulsión en un impermeabilizante para lugares con elevados índices de condensación.

Capítulo VI

Conclusiones

Los impermeabilizantes no sirven para todo tipo de sustratos y aplicaciones. Si bien todos tienen como objetivo proteger a los materiales de los daños provocados por el contacto con el agua, no todos lo cumplen a cabalidad y no por ser “malos o deficientes impermeabilizantes”. Ya que primero se debe analizar donde y en qué tipo de situación estará envuelto su uso. [1]

En el trabajo presentado se evaluaron emulsiones de tres familias químicas diferentes, estireno-acrílicas, vinil-veova-acrílicas y poliuretanos. Cada una presentó diferentes tipos de ventajas y desventajas, dependiendo del tipo de impermeabilización que se quiere alcanzar. De manera general se piden los siguientes requisitos básicos para cada una de las fórmulas presentadas. [2]

- a) Una elevada resistencia a la saponificación.
- b) Una baja absorción de agua.
- c) Elevado porcentaje de elongación
- d) Ser permeable al vapor.

Las emulsiones estireno acrílicas cumplieron de manera satisfactoria todos los requisitos, destacando la emulsión Mowilith DM 765, que presentó un elevado porcentaje de elongación a temperatura ambiente 533% y también a temperatura de 5°C 75% y baja absorción de agua en todos los tests relacionados a ello.

En tanto las vinil-veova-acrílicas, presentaron comportamientos similares entre ellas, siendo la Mowilith LDM 2442 destacable en absorción de agua y permeabilidad al vapor. En tanto la Mowilith 2494 tiene un buen porcentaje de elongación. Sin embargo, la emulsión Mowilith DM 765 sigue teniendo un desempeño mejor que ambas.

Finalmente, para las emulsiones poliuretánicas presentes en el mercado los rendimientos dados para cada una de las pruebas no fueron los esperados, siendo en gran medida explicados por su bajo contenido de sólidos, un 20% menos de sólidos en la formulación de la membrana A versus las demás.

Los impermeabilizantes con emulsiones estireno-acrílicas son en este documento destacadas, debido a que su precio es menor frente a la poliuretánica, 3 a 4 dólares por kilo versus 10 dólares por kilo de las emulsiones poliuretánicas. Además de ellas son completamente atóxicas lo que es una ventaja medioambiental, y algunas

inclusos son Apeo free, que como se pudo probar presenta una ventaja incluso mayor, ya que la absorbción de agua disminuía muy poco o incluso no influía en alguna de las emulsiones probadas.

Las membranas A y B presenta una diferencia notable en cuanto a rendimientos entre elongación absorción de agua y permeabilidad, debido a que la cantidad de ligante, la cual influye de manera tajante en su comportamiento. Por ende, no resulta rentable ni beneficioso reducir el porcentaje de ligante en las recetas de impermeabilizantes.

Este documento se puede utilizar como base para proponer realizar futuros trabajos con mezcla de emulsiones de distintas naturalezas para mejorar ciertas características del impermeabilizante, ejemplo de ello sería probar la emulsión Mowilith DM 765 de base química estireno-acrítica con una de las emulsiones poliuretánica con mejor comportamiento, en este caso Mowiplus Top LNA.

Finalmente, la comparación de diversas naturalezas químicas para la formulación de impermeabilizantes servirá como antecedente en las tareas de la organización chilena de impermeabilizantes, ASIMP, a encaminar una posible normalización y regulación en cuanto al uso y criterios mínimos de calidad a cumplir de estos materiales.

Capítulo VII

Bibliografía

- [1] Tecnológico, C. D. (n.d.). Humedad por condensación en viviendas - Prevención y soluciones, Santiago, Chile (2012), Cap 1.
- [2] Documento BASH, Reparación del Hormigón, Soluciones para restablecer la Integridad Estructural, Barcelona, España (2017) 15-17.
- [3] Ed. (2018, 9 de abril). Cuando el sueño de la casa propia se vuelve una pesadilla. *La tercera*.
- [4] DI.(2018, 11 de Abril). Cuando el sueño de la casa propia se vuelve una pesadilla. *Diario independencia*.
- [5] <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=245882>, Ministerio de viviendas y urbanismo, Gobierno de Chile (2006).
- [6] <http://asimpchile.com/web/>, Asociación Gremial de Impermeabilizadores de Chile (2019)
- [7] Burgos,Daiela. Análisi y propuestas de soluciones técnicas de aislación térmica exterior en el mercado chileno. Memoria para optar al título de ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, 2008.
- [8] Caro, Catalina. Humedad en viviendas: riesgo de condensación. Revista Bit (75), noviembre 2010.
- [9] Cocollano, José. Tratamiento de la humedad en los edificios. Ed. Paraninfo Thomson. 2° edición España, 2005.
- [10] Eichler, Friedrich. Patología de la construcción: detalles constructivos. Ed.Blume. 2° edición Barcelona,1973.
- [11] Carbonell, J. C., & Guasch, M. M. Pinturas y recubrimientos: Introducción a su tecnología, Madrid (2008) Cap. 3.
- [12] Luft, C. W., & Luft, P. F. Cómo pinto mi casa, Buenos Aires (1963), pp 112.
- [13] Curso dictado para el Sater. "Recubrimientos plásticos", Alemania (2000). pp 1-48.
- [14] Dr.Beyer F+E. Curso de preparaciones de dispersiones Mowilith. Ed., Clariant (2002).

- [15] BONDIA, M. Creación de una base de datos colorimétrica para pinturas plásticas y caracterización de la resina mediante ensayos reológicos, térmicos y mecánicos. Trabajo Final de Máster. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2012, p. 3-12.
- [16] CALVO, J. Pinturas y Recubrimientos. Introducción a su tecnología, Madrid (2009).
- [17] A. Cruz, Optimización de pinturas decorativas base agua mediante aditivos dispersantes y espesantes, trabajo final para optar al grado de ingeniero industrial, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Enginyeria Química (2014).
- [18] SCHWEIGGER, E. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Madrid: Díaz de Santos (2005) p. 27-60.
- [19] BENTLEY, J., TURNER, G.P.A. Química y Tecnología de Pinturas y Revestimientos. Madrid: A. M. Vicente (1999) p. 91-149
- [20] QUIROGA, M. Estudi del caleig en les pintures per a façanes mitjançant el disseny d'experiments. Proyecto Final de Carrera. Barcelona, Universitat de Barcelona, Facultat de Química (2012) p. 8-23.
- [21] Diccionario Tecnológico de Pinturas. Barcelona: Aenor, 1999.
- [22] BUTT, H.J.; GRAF, K.; KAPPL, M. Physics and Chemistry of Interfaces. Weinheim: WileyVCH, 2003, p. 118-144.
- [23] AVENDAÑO, J., BRICEÑO, M.I. y ROJAS, O. Fundamentos de Reología. Mérida, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, (2012), p. 1-29.
- [24] Rheology Handbook. A practical Guide to Rheological Additives. Elementis Specialties. Hightstown, NJ, United States of America, (2008) p. 5-15.
- [25] Hydroxyethylcellulose. Product data. Ashland Specialty Ingredients. Covington, KY, United States of America, (2011).
- [26] A. Madrid, Pinturas y revestimientos: manual práctico. Madrid: A.M. Vicente, (2010).
- [27] Performance additives for waterborne and solventborne systems. Elementis Specialties. East Windsor, NJ, United States of America, (2013) pp. 8-11.
- [28] Wetting and Dispersing Additives. Technical Information. BYK-Chemie GMBH, Wesel, Alemania, (2013).

- [29] <https://www.pcimag.com/articles>, Paint & Coating Industry, United States of America, (2019).
- [30] Simal, F.; Hendrickx, H.; Verwee, A.; Nootens, C.; Decocq, F. Proceedings of the American Coatings Show, (2008) pp. 1-6.
- [31] 3 VeoVa Vinyl Ester Monomer – Momentive Technical Brochure 07/2011.
- [32] C.Koukiotis, I. D.; Sideridou. Progress in Organic Coatings, vol 63 (2008) pp 116-122.
- [33] Gregorí, (2008, Julio), Caracterización estructural de poliuretanos, Revista iberoamericana de polímeros, 4, pp 2.
- [34] Clariant- Comprehensive Handbook on Emulsion polymerization and film formation, 2007.
- [35] R. Chapman, Chemical bonding ,7(2017) 331-49.
- [36] K, I. Powell “Waterbone epoxy resins”, in nonwovens binders. Additives, chemistry and use seminar. TAPPI,New York , October (1985)
- [37] P. Pangrazi. “nonwoven bonding technologies: there´s more than one way to bond a web”, 1 (1995).
- [38] Wu, S. Polymer interfase and adhesion. New York, Dekker. 1982. pp. 169-198.
- [39] G.J Zepeda, Estudio de la elongación de pinturas con tecnología E.W.C., para muros de hormigón, Tesis para optar al título de ingeniero Civil, Universidad Andres Bello (2004).
- [40] ARCHROMA-Método de análisis-Determinación del valor de pH.
- [41] ARCHROMA-Método de análisis-Determinación de la viscosidad, mediante viscosímetro Brookfield RVD VII+. (2018)
- [42] AMTEX-Método Brookfield para el análisis de la viscosidad. (2015)
- [43] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de contenido de sólidos. (2018)
- [44] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de sólidos mediante termobalanza Metler HB 43. (2018)
- [45] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de temperatura mínima de Formación de película. (2018)
- [46] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación Aspecto de película seca. (2018)

- [47] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de la estabilidad a la alcalinidad de resinas poliméricas. (2018)
- [48] ABNT NBT- Norma brasilera- membranas acrílica para impermeabilización. (2008)
- [49] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de la absorción de agua de películas secas. (2018)
- [50] CLARIANT-Método de laboratorio- Determinación de la absorción de agua de películas secas. (2000)
- [51] ARCHROMA-Método de análisis- Resistencia y elongación de películas secas. (2018)
- [52] ARCHROMA-Método de análisis- Manual para el uso correcto de dinamómetro Instron Modelo 3369. (2018)
- [53] ARCHROMA-Formula orientativa: Membrana A-33% solidos polímeros. (2018)
- [54] ARCHROMA- Formula orientativa: Membrana B-20% solidos polímeros. (2018)
- [55] ARCHROMA-Método de análisis- Determinación de absorción de agua a través de probetas Karsten y capilaridad. (2018)
- [56] BASF-Thest methods-Lab. Work: generally. (2016)
- [57] ARCHROMA-Laboratory Methods- Water permeability. (2008)
- [58] BASF-Thest methods- Water vapour transmission rate. (2016)
- [59] Nch 2457-Norma chilena-Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios- Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.
- [60] <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf> Departamento de Química orgánica, Universidad autónoma de Madrid. (2017)
- [61] <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf>, Repositorio institucional de la universidad de Alicante. (2018)
- [62] Clariant- Division CEP, Bu Emulsions informs about, Elastomeric Wall Coating. (2006)
- [63] G.Contreras, Boletín de emulsiones termoadherentes en colaboración con colaboradores españoles, Universidad de Costa Rica, (2014)
- [64] A. Fernández, A palomo, Propiedades y aplicaciones de los cementos alcalinos, 24 (2009) 213-232.

- [65] N. De Kimpe, M. Bueykens, K. Abbaspour, The journal of organic Chemistry, 59 (1994) 8215-8219.
- [66] J. Calvo, Pinturas y Barnices, Días de Santo, España (2014), pp. 50-52,103,226-230.
- [67] E. Schweigger, Manual de pinturas y recubrimientos elásticos, Días de Santo, España (2005), pp. 50-51.
- [68] <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/09/07/impermeabilizantes-como-seleccionar-el-mas-adecuado/>, Revitalizate Gpo Emp, Gobierno de México (2018).
- [69] O. Domínguez, M. Toro, E.Serrano, Formación Universitaria, 7 (2014) 15-22
- [70] U.Asutin, Principles of Chemistry, Rice, United Kingdom (2017). Cap 3.
- [71] V.Arriaga, D. Vanaken, Y. Zegui, High quality vinyl ester based binders for elastomeric roof coating, Stafford, USA (2015).
- [72] Hoja técnica Moviplus Top LNA, 2013.
- [73] Hoja técnica Mowilith LDM 6481,2013.
- [74] W.Luck, M. Klier y H. Wesslau, Die Naturwissenschaften,50,37(1963).
- [75] A. Fernández, Estudio de la Hidrofobicidad y Autolimpieza en Materiales con Nanotratamientos Superficiales, Proyecto Final de Carrera Ingeniería de Materiales, Universidad autónoma de Barcelona. (2013).
- [76] P. Gomez, Termodinámica I,1° Ed, El tamiz, España (2013).
- [77] D.Vanken, Z. Yan, L. Nguyen, Y. Zegui. High quality vinyl ester based binders for elastomeric roof coatings, HIGH QUALITY VINYL ESTER BASED BINDERS FOR ELASTOMERIC ROOF COATINGS, Sttandford, USA, (2013).
- [78] D. Basett, "Hydrophobic coatings from emulsion polymers", Journal of Coatings Technology, 2001, pp. 43.
- [79] D. Vanaken, V. Arriaga, "Branched vinyl ester monomers for hydrophobic emulsion polymers", Proceedings of the 40th Annual International Waterborne, High Solids, and Powder Coatings Symposium, February 2013, pp. 117-131.
- [80] C. Harper, "Handbook of Plastics and Elastomers", McGraw Hill, 1975, pp. 1-4
- [81] A.Bovar, Pintura de carrocerías de automóviles, 1° Ed. Paraninfo,1984, pp198.
- [82] M. Uribe, Los polimeros, 1° Ed, Limusa, España, 1980 pp193.

- [83] A. Ryntz, Philip V. Yaneff, Coatings of Polymers and Plastics, Marcel Dekker, New York, USA, 2003, pp 258.
- [84] L. Wasgstaff, 150 fórmulas de pintura decorativas, Libros cúpula, Barcelona, España, 1996, pp 192.
- [85] NF-P 84-401-Norma francesa-Pinturas elásticas.
- [86] <https://www.tqcsheen.com/es/producto/karsten-tube-penetration-test-es/> , TCS Chee, Empresa de materiales de construcción.(2019).
- [87] Clariant-Comparación: polímeros en solución vs. polímeros en dispersión. (2003).
- [88] Mukerjee,P., J.Phys.Chem., 62, 1404 (1958).
- [89] Bair,E.J., Krus,C.a., J.Am.Chem.Soc., 73, 1129 (1951).
- [90] Kuhny,D.W., Krus,C.A., J.Am.Chem.Soc., 72, 3676 (1950).
- [91] McDowell,M.J., Krus,C.A., J.Am.Chem.Soc., 73, 2173 (1951).
- [92] ARCHROMA-Documento APEO free. (2007)
- [93] G. Guo Ying, B. Williams, R, Kookana, *El servier*, 28 (2002) 215 – 226.
- [94] Y. Melanie, G. Sorokin, D. Roast, C.Geofrey, *Brighty Environ Health Perspect*, 114 (2006) 147–151.
- [95] S. Talmage, Environmental and human safety of major surfactants, 1°Ed, Lewis publishers, NY, United States of America (2000), pp 3-19.
- [96] A. Cerda, Emulsiones Mowilith ® tu solución en impermeabilización, ARCHROMA Chile Ltda, Santiago, Chile, (2011).
- [97] Wachter, Silicone microemulsions, Munich, Germany (1992).
- [98] P. Martínez, P. Sarmiento,W. Sarmiento, Evaluación de la humedad por condensación dentro de viviendas sociales. *Revista INVI*, 20 (2005) 55.
- [99] Hoja técnica Mowilith LDM 6137, 2013.
- [100] Hoja técnica Mowilith DM 765, 2013.
- [101] Hoja técnica Mowilith LDM 6481, 2013.
- [101] Hoja técnica Mowilith LDM 2494, 2013.
- [103] Hoja técnica Mowilith LDM 2442,2013.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD/ESCUELA/INSTITUTO DE QUÍMICA
DIRECCIÓN DE QUÍMICA.**

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA DISTRIBUIR/PUBLICAR TRABAJOS DE TITULACIÓN

Yo, Scarleth Victoria Carreño Reveco, RUT N° 18.730.850-K, detento todos los derechos patrimoniales sobre mi obra de profundización profesional y no he otorgado autorizaciones de uso a terceros que restrinjan mi facultad de ejercer estos derechos sobre ella. A mayor abundamiento, me obligo a mantener indemne a la UC de todo reclamo y acción legal de un tercero alegando que mi obra infringe su derecho de autor.

Autorizo a la UC para reproducir mi obra, publicarla y almacenarla en su sistema digital. Autorizo a los usuarios del sistema digital UC para utilizar, publicar, reproducir y distribuir mi obra al público, sin solicitar mi autorización, bajo las siguientes condiciones:

- o Que el uso, publicación, reproducción y distribución al público sea gratuito;
- o Que la reproducción de la obra, aun cuando sea parcial, siempre incluya el título y mi nombre como autor;
- o Que bajo ninguna circunstancia la obra sea adaptada, modificada o traducida.

Todo lo anterior, a partir de 20 de Agosto del 2019.

(Firma)

Santiago, 20 de Agosto del 2019.

