

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TÍTULO**

**“DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES  
REOLÓGICAS ÓPTIMAS DE UNA MEZCLA DE  
PEGAMENTO PARA CERÁMICOS PARA USO  
EN EDIFICACIONES”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR**

**CONDORI LOPEZ EVELIN MARGOT  
MAMANI LIPA JESUS DANIEL  
TOLEDO MILLA JOHAN MANUEL**

**CALLAO, 2019  
PERÚ**



## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por la señorita Bachiller **CONDORI LOPEZ EVELIN MARGOT** y los señores bachiller **TOLEDO MILLA JOHAN MANUEL** y **MAMANI LIPA JESUS DANIEL** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	PRESIDENTE
ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	SECRETARIO
ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ	VOCAL
ING° GUMERCINDO HUAMANÍ TAPE	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 54 y Acta N° 53 de fecha **TREINTA Y UNO DE AGOSTO DE 2019**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y en su Cuarta Disposición Transitoria, norman los requisitos de los expedientes para la obtención del Grado Académico de Bachiller

## **DEDICATORIA**

A cada uno de nuestros padres por el esfuerzo puesto en cada día por brindarnos todo aquello que jamás tuvieron, y haber tenido la dedicación en nuestras enseñanzas, y por haber puesto toda su fe en cada uno de nosotros, sobre todo por haber colocado nuestros pies en el camino del conocimiento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a cada una de las personas que en nuestro arduo camino, nos brindaron su apoyo incondicional para poder cumplir con esta meta anhelada, sobre todo agradecer al Ing. Agérico Pantoja Cadillo, que con sus consejos y conocimientos, guio nuestros pasos en la elección de este trabajo que hoy al final de tanto es una realidad. A nuestros maestros de universidad que pusieron en cada uno de nosotros la fortaleza para cumplir nuestros objetivos en un día a día de lucha y arduo trabajo.

## INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1. Determinación del problema .....	11
1.2. Formulación del problema.....	11
1.2.1. Problema general.....	11
1.2.2. Problemas específicos .....	11
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo general .....	12
1.3.2. Objetivos específicos .....	12
1.4. Limitantes de la investigación .....	12
1.4.1. Limitante teórico.....	12
1.4.2. Limitante temporal.....	12
1.4.3. Limitante tecnológico .....	12
1.4.4. Limitante espacial .....	13
II. MARCO TEORICO .....	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	14
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	17
2.2. Bases teóricas .....	18
2.2.1. Adhesivos para colocación de baldosas cerámicas.....	18

2.2.2. Norma europea EN 12004.....	19
2.2.3. Tipos de adhesivo según norma EN 12004.....	21
2.2.4. Tipos de adhesivos y sus características .....	23
2.2.5. Composición de los adhesivos .....	25
2.2.6. Propiedades de los adhesivos.....	31
2.2.7. Ventajas del uso de recubrimiento cerámico .....	34
2.2.8. Desventajas del uso de recubrimiento cerámico .....	34
2.2.9. Reología .....	38
2.2.10. Modelos reológicos .....	38
2.2.11. Viscosidad.....	40
2.2.12. Tipos de viscosidad.....	41
2.2.13. Factores que afectan la viscosidad .....	41
2.2.14. Clasificación de fluidos .....	45
2.3. Conceptual.....	55
2.4. Definición de términos básicos .....	56
III. HIPOTESIS Y VARIABLES.....	57
3.1. Hipótesis .....	57
3.1.1. Hipótesis general .....	57
3.1.2. Hipótesis específica .....	57
3.2. Definición conceptual de variables .....	57
3.2.1. Operacionalización de Variables.....	58
IV. DISEÑO METODOLOGICO.....	59
4.1. Tipo y diseño de la investigación .....	59
4.2. Método de investigación .....	59
4.3. Población y muestra.....	59
4.3.1. Población .....	59

4.3.2. Muestra .....	60
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado .....	61
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección e información .....	61
4.5.1. Materia prima .....	61
4.5.2. Materiales.....	62
4.5.3. Placa de concreto .....	62
4.5.4. Equipos .....	63
4.5.5. Procedimiento de la prueba de tracción .....	65
4.5.6. Determinación del modelo reológico .....	71
V. RESULTADOS.....	73
5.1. Prueba de resistencia a la tracción .....	73
5.2. Determinación del modelo reológico .....	89
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101
6.1. Contratación y demostración de hipótesis con los resultados .....	101
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	102
CONCLUSIONES .....	104
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	106
ANEXO .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Adhesivos para la colocación de cerámicas.....	18
Figura 2. Representación de los antiespumantes secos en polvo.....	27
Figura 3. Representación de los polvos poliméricos redispersables.....	29
Figura 4. Principales sales de frutas ácidas usados como retardantes.....	29
Figura 5. Estructura química del Metilhidroxietil celulosa retenedor de agua...	30
Figura 6. Retención de agua en función de la dosificación de la HMEC.....	31
Figura 7. Representación del fenómeno de adherencia.....	31
Figura 8. Métodos normalizados para medir la adherencia.....	32
Figura 9. Representación del fenómeno de adherencia mecánica.....	33
Figura 10. Decoloración de baldosa cerámica.....	35
Figura 11. Tipos de viscosidad.....	40
Figura 12. Curvas de tipos de fluidos.....	45
Figura 13. Curva de fluidez y viscosidad de fluidos newtonianos.....	46
Figura 14. Curva de fluidez y viscosidad para fluidos pseudoplásticos.....	48
Figura 15. Representación teórica del flujo de varillas rígidas suspendidas....	49
Figura 16. Representación teórica del flujo de moléculas filamentosas.....	49
Figura 17. Curva de fluidez y viscosidad para un fluido dilatante.....	50
Figura 18. Curva de fluidez y viscosidad para un fluido plástico.....	51
Figura 19. Curva de fluidez y viscosidad para un fluido tixotrópico.....	53
Figura 20. Curva de fluidez y viscosidad para un fluido reopéctico.....	54
Figura 21. Gráfica de distribución de muestras en la placa de concreto.....	61
Figura 22. Pesaje de insumos para la elaboración del pegamento.....	62
Figura 23. Placas de concreto para el pegado de las baldosas.....	62
Figura 24. Dinamómetro Proceq ZE16 para la prueba de resistencia.....	64
Figura 25. Dinamómetro Proceq ZE16 acoplado a su panel digital.....	64
Figura 26. Balanza gramera digital de 10 Kg de capacidad.....	65
Figura 27. Balanza digital de 0.01 g de sensibilidad.....	65
Figura 28. Viscosímetro rotacional J.P. Selecta modelo ST 2001.....	66
Figura 29. Pesaje de aditivos para la preparación del pegamento.....	67
Figura 30. Mezcla de insumos a distintas concentraciones de sal.....	67

Figura 31. Agregado de agua a la mezcla de mortero seco .....	68
Figura 32. Muestras de pegamento a distintas dosificaciones de agua .....	68
Figura 33. Muestra pegamento preparada para 0.08 g/Kg.....	69
Figura 34. Untado de la muestra pegamento sobre la placa de concreto .....	69
Figura 35. Formación de surcos en el adhesivo con la llana dentada.....	70
Figura 36. Uso de pesa de $(20 \pm 0.05)$ N por un lapso de 30 seg.....	70
Figura 37. Muestras adheridas para la su lectura en 14 días.....	71
Figura 38. Placa de metal adherido a las baldosas para pruebas de tracción. 71	
Figura 39. Lectura de la resistencia usando el dinamómetro Proceq ZE16 .....	72
Figura 40. Preparación de muestra de pegamento .....	72
Figura 41. Determinación de la viscosidad de cada muestra .....	73
Figura 42. Lectura de la viscosidad en la muestra de pegamento .....	73
Figura 43. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 20% H <sub>2</sub> O. 76	
Figura 44. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 24% H <sub>2</sub> O 77	
Figura 45. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 28% H <sub>2</sub> O 77	
Figura 46. Comparación de curvas a 0.08 g/Kg de sal en la mezcla.....	78
Figura 47. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 20%H <sub>2</sub> O... 79	
Figura 48. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 24%H <sub>2</sub> O... 79	
Figura 49. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 28%H <sub>2</sub> O... 80	
Figura 50. Comparación de curvas a 0.08 g/Kg de sal en la mezcla.....	80
Figura 51. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 20%H <sub>2</sub> O... 81	
Figura 52. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 24%H <sub>2</sub> O... 82	
Figura 53. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 28%H <sub>2</sub> O... 82	
Figura 54. Comparación de curvas a 0.12 g/Kg de sal en la mezcla.....	83
Figura 55. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 20%H <sub>2</sub> O... 84	
Figura 56. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 24%H <sub>2</sub> O... 84	
Figura 57. Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 28%H <sub>2</sub> O... 85	
Figura 58. Comparación de curvas a 0.14 g/Kg de sal en la mezcla.....	85
Figura 59. Comparación de curvas para de medias ajustadas en concentraciones. ....	86
Figura 60. Comparación de curvas a medias ajustadas en días. ....	87
Figura 61. Gráfica de superficie resistencia (N/mm <sup>2</sup> ) Vs C(g/Kg), t(días).....	88

Figura 63. Gráfica de superficie resistencia ( $N/mm^2$ ) vs t(días), %H <sub>2</sub> O .....	89
Figura 64. Comportamiento reológico del adhesivo a 0.08g/Kg.....	91
Figura 65. Comportamiento reológico del adhesivo a 0.10g/Kg.....	94
Figura 66. Comportamiento reológico del adhesivo a 0.12g/Kg.....	97
Figura 67. Comportamiento reológico del adhesivo a 0.14 g/Kg.....	100
Figura 68. Superficie húmeda por el exceso de agua en el adhesivo .....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Denominación de los adhesivos según norma EN 12004 .....	20
Tabla 2 Especificación de los adhesivos tipo cementoso según norma EN 12004 .....	22
Tabla 3 Minerales usados como materia prima para baldosas cerámica .....	36
Tabla 4 Principales rocas utilizadas como materia prima cerámica .....	37
Tabla 5 Rangos de velocidad de corte en diferentes aplicaciones .....	44
Tabla 6 Viscosidades dinámicas de fluidos Newtonianos a temperaturas y presiones ambientales.....	47
Tabla 7 Operacionalización de variables.....	59
Tabla 8 Resistencia de tracción tomada a distintas concentraciones de sal y porcentaje de agua.....	74
Tabla 9 Datos de resistencia a la tracción a 0.08 g/Kg de sal .....	76
Tabla 10 Datos de resistencia a la tracción a 0.10 g/Kg de sal.....	78
Tabla 11 Datos de resistencia a la tracción a 0.12 g/Kg de sal.....	81
Tabla 12 Datos de resistencia a la tracción a 0.14 g/Kg de sal.....	83
Tabla 13 Datos reológico del adhesivo a 0.08 g/Kg y 24% H <sub>2</sub> O.....	90
Tabla 14 Datos reológicos del adhesivo a 0.08 g/Kg y 28% H <sub>2</sub> O.....	91
Tabla 15 Datos reológicos del adhesivo a 0.10 g/Kg y 24% H <sub>2</sub> O .....	92
Tabla 16 Datos reológicos del adhesivo a 0.10 g/Kg y 28% H <sub>2</sub> O.....	93
Tabla 17 Datos reológicos del adhesivo a 0.12 g/Kg y 24% H <sub>2</sub> O.....	95
Tabla 18 Datos reológicos del adhesivo a 0.12 g/Kg y 28% H <sub>2</sub> O.....	96
Tabla 19 Datos reológicos del adhesivo a 0.14 g/Kg y 24% H <sub>2</sub> O.....	98
Tabla 20 Datos reológicos del adhesivo a 0.14 g/Kg y 28% H <sub>2</sub> O.....	99

## RESUMEN

La alta resistencia de los materiales, es una consideración muy importante a la hora de realizar la selección de un material destinado a la construcción, ya que en los últimos años la exigencia del mercado ha ido evolucionando con el pasar de los años. Esta evolución, acompañada del progreso constante de la sociedad, se ha visto reflejado en las altas exigencias establecidas por los clientes a la hora de adquirir cualquier material para uso en edificaciones.

El presente trabajo se desarrolló, con el fin de determinar las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para baldosas cerámicas usada en edificaciones, elaborando dicho pegamento a distintas concentraciones de sal (0.08, 0.10, 0.12 y 0.14 g/Kg en peso del mortero seco), así como a diferentes dosificaciones de agua (20, 24 y 28 % en peso el mortero seco) , para poder determinar por medio de un dinamómetro (Proceq ZE16), cuál de estas mezclas permite las mejores condiciones del producto como la mejor consistencia y la óptima resistencia, para posteriormente determinar las viscosidades de cada muestra haciendo uso de un viscosímetro rotacional JP Selecta modelo ST 2001, determinando finalmente el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de un pegamento para baldosas cerámicas de condiciones óptimas, todo ello tomando como referencia los requisitos de la norma europea UNE EN 12004.

**Palabras claves:** Adhesivo, autosoportancia, trabajabilidad, mortero, sustrato, reología, baldosa, dosificación, concentración.

## ABSTRACT

The high resistance of the materials, is a very important consideration when making the selection of a material for construction, since in recent years the market requirement has evolved over the years. This evolution, accompanied by the constant progress of society, has been reflected in the high demands established by customers when acquiring any material for use in buildings.

The present work was developed, in order to determine the optimal rheological conditions of a mixture of glue for ceramic tiles used in buildings, making said glue at different concentrations of salt (0.08, 0.10, 0.12 and 0.14 g / Kg in mortar weight dry), as well as at different dosages of water (20, 24 and 28% by weight dry mortar), to be able to determine by means of a dynamometer (Proceq Z16E), which of these mixtures allows the best product conditions as the best consistency and optimum resistance, to later determine the viscosities of each sample using a rotational viscometer JP Selecta model ST 2001, finally determining the rheological model that best describes the behavior of a glue for ceramic tiles of optimal conditions, all taking as reference the requirements of the European standard UNE EN 12004.

**Key words:** Adhesive, self-support, workability, mortar, substrate, rheology, tile, dosage, concentration.

## INTRODUCCIÓN

“Las cerámicas se han utilizado en la construcción desde miles de años atrás comenzando por la decoración de paredes hasta los pavimentos, permitiendo desbordar la creatividad y el diseño de profesionales en la rama de la construcción” (Cajamarca & Acero, 2015, p. 18).

El autor Restrepo Baena (2011) afirma: “Las baldosas cerámicas se fabrican fundamentalmente con arcillas o arcillas margosas, húmedas o que son mezcladas con agua para someterlas a un proceso de moldeo y cocción”. (p.18). Las cualidades estéticas y funcionales de la cerámica han hecho universal su uso en muchos ámbitos de la vida. Su utilización en arquitectura, con diferentes fines, es muy antigua; uno de los más populares, y que tiene larga y extensa tradición, es el empleo de baldosas cerámicas para revestir suelos y paredes (Gonzalez Cudilleiro, 2011, p. 16).

Los adhesivos para colocación de baldosas cerámicas, son materiales para la colocación de baldosas cerámicas que se fabrican industrialmente y se suministran en uno o varios componentes para su aplicación por el sistema de capa delgada. Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros Industriales (ANFAPA, 2008).

Según el autor Mr. Perter J. (1992): “Los adhesivos para baldosas cerámicas ofrecen mejores alternativas que los métodos tradicionales de fijación de baldosas con morteros de arena y cemento”. (p. 447)

El presente trabajo busca determinar las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para baldosas cerámicas tipo cementoso, controlando los parámetros tales como la dosificación de agua y porcentaje de sal usadas en la preparación de la mezcla de pegamento, para obtener el modelo reológico que mejor describe a un pegamento para baldosa cerámica, a la misma vez conseguir la resistencia a la tracción óptima del producto.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Determinación del problema**

El uso del recubrimiento cerámico se ha llevado a cabo desde años inmemorables en las distintas partes del mundo, usándose en trabajos tanto en interiores como exteriores, una de las problemáticas más resaltantes en el uso de los recubrimientos cerámicos es la instalación de los mismos, la instalación de los recubrimientos cerámicos depende de gran medida de los adhesivos a usarse siendo más específicos en el pegado o instalación, se sabe muy bien que los adhesivos que son trabajables con menos uso de agua son los adhesivos preferidos y más usados en los trabajos en edificaciones, sobre todo si estos aseguran un tiempo mínimo de secado o fraguado del mortero. El presente trabajo busca determinar las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámico para uso en edificaciones.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles serán las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámico para uso en edificaciones?

#### **1.2.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el modelo reológico que determina el comportamiento de una mezcla óptima de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones?
2. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas que afecta el comportamiento reológico de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones?
3. ¿Cuáles deben ser las dosificaciones adecuadas de componentes en una mezcla de pegamento que proporcione una óptima consistencia al producto?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.
- ✓ Determinar las características fisicoquímicas que afectan el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.
- ✓ Establecer la dosificación adecuada de agua y sal en una mezcla de pegamento que proporcione una óptima consistencia del producto.

### **1.4. Limitantes de la investigación**

#### **1.4.1. Limitante teórico**

La búsqueda de información para el desarrollo del presente trabajo, no fue un limitante de esta investigación.

#### **1.4.2. Limitante temporal**

La presente investigación se desarrolló en el lapso establecido sin inconveniente alguno.

#### **1.4.3. Limitante tecnológico**

Como limitante tecnológico, consideramos la necesidad de contar con un reómetro que pudiera determinar, el esfuerzo de corte del pegamento para cerámicos, ya que la mezcla de pegamento elaborada fue una mezcla de consistencia muy viscosa, el cual fue impedimento para el uso del reómetro ubicado en el laboratorio de investigación de la Universidad Nacional del Callao. Por ende fue necesaria el uso del viscosímetro rotacional. Siendo esto, el limitante tecnológico principal para la obtención de datos más detallados.

#### **1.4.4. Limitante espacial**

No se tuvo limitante espacial para el desarrollo de la presente investigación, ya que las instalaciones de la empresa Sika Perú S.A. para las lecturas de las resistencias, en los ensayos de resistencia a la tracción, así como las instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias (LOPU), fueron de gran importancia para la realidad de este trabajo.

## II. MARCO TEORICO

### 21. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Chipana Lyanne L. & Luna Catherinne F. (Bolivia, 2018) en su trabajo de pregrado “Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola según norma UNE EN 12004 y análisis de costos de producción” los autores realizan una pruebas experimentales en la elaboración de cemento cola, comparándolo con un adhesivo comercial de dicho país, obteniendo resultados favorables con respecto a la adherencia de su producto elaborado, llegando a determinar que el producto elaborado cumple con la norma EN 12004 de ofrecer una resistencia por encima de  $1.0 \text{ N/mm}^2$  que es requisito fundamental de un adhesivo según esta norma. De la misma manera realizan un análisis de costo de producción, equipos y materiales para la fabricación de este adhesivo, llegando a determinar el precio unitario del producto en 1.37 Bolívares por Kg. Para así lograr satisfacer la demanda del mercado de adhesivo en Bolivia.

Cajamarca Johan D. & Acero Jeison M. (Colombia, 2015) en su trabajo de investigación “Comparación técnica de pegantes para cerámica con contenidos de látex y polímeros” analizaron y verificaron el comportamiento que tiene el material látex y polímero, realizándose ensayos de deslizamiento en superficie vertical así como el ensayo resistencia a la tracción según la norma técnica colombiana NTC 4381, obteniendo como resultado la mayor resistencia al deslizamiento en superficie vertical por parte del pegamento con contenido de polímero, el cual presentó aproximadamente 0.2 mm de desfase en comparación al pegamento con contenido de látex que tuvo un desfase entre 1.2 – 1.6 mm, en los ensayos de resistencia a la tracción se determinó que el adhesivo a base de polímero (Pegamento Portland) presentó una eficaz resistencia de  $180 \text{ Kg/cm}^2$  a diferencia del pegamento a base de látex (Pegacor) que tan solo presentó una resistencia de  $130 \text{ Kg/cm}^2$ , ambos pegamentos cumplieron con la norma técnica NTC 4381, demostrándose que a la hora de seleccionar un pegamento, ambos pegamentos pueden ser eficaces para un trabajo en edificaciones a pesar, de las diferencias cuantitativas en los diferentes ensayos

realizados. Adicionalmente en este trabajo se realizó un análisis con microscopio electrónico de barrido (MEB) determinándose que el Pegacor así como el pegamento Portland, pegamentos a base de látex y pegamento a base de polímero respectivamente, en su mayoría están químicamente formados por Silicio, Aluminio, Oxígeno y Calcio. Diferenciándose en la composición química del hierro el cual no se encuentra presente en el pegamento Portland siendo la ausencia de éste, el que brinda una eficaz y alta resistencia al adhesivo para baldosa.

Orellana M. Italo (Ecuador, 2010) en su trabajo de tesis “Estudio de factibilidad para la elaboración de pegantes cerámicos” el autor realiza un estudio de viabilidad para poder elaborar pegamento para baldosas cerámicas, realizando un estudio de mercado, así como un análisis de oferta y demanda de este producto en Ecuador. De la misma manera el autor realiza un estudio técnico del diseño de planta, planos y máquinas para el proceso de elaboración, así como los costos de operación y presupuesto para el proyecto. Finalizando su trabajo con un estudio económico, inversión para el proyecto tomando en cuenta los costos de operación, gastos administrativos, gastos financieros y costos de ventas. Llegando a concluir de esta manera que la elaboración de pegamento para baldosas cerámicas, es rentable de acuerdo a los estudios realizados, determinándose la recuperación de la inversión en un periodo máximo de 5 años. Recomendando, la comercialización del pegamento cerámico en conjunto con la baldosas cerámica como un combo promocional, haciendo un ingreso al mercado de manera agresiva del producto, pues según sus estudios la demanda en el mercado ecuatoriano es aproximadamente 400 ton/mes.

Cárcamo A. Edy (Guatemala, 2007) en su trabajo de investigación “Normas y control de calidad de piso cerámico en producto terminado”. El autor realizó una recopilación de las normas que hacen mención a las baldosas cerámicas, así como los distintos métodos de ensayo realizados a las baldosas como producto terminado para su aceptación y comercialización en el mercado, basándose en la normas ISO 10545, normas europeas (EN) así como la normas norteamericanas ASTM, enfatizando los métodos de ensayo para la aceptación de las baldosas según norma ISO 10545- 2, mencionando también las

condiciones de dimensiones y calidad de superficie en las baldosas cerámicas de acuerdo a las normas ISO 10545-2, EN 98 y ASTM C 499-83, describiendo los métodos de ensayo para determinar la absorción de agua mencionado en las norma ISO 10545-3 y EN 99, describiendo los requisitos para el ensayo de resistencia a la flexión y al impacto por medio del coeficiente de restitución según norma ISO 10545-4 e ISO 10454-5 respectivamente, así como el ensayo de abrasión profunda y de superficie según las normas ISO 10545, EN y ASTM C 1027. Haciendo referencia al ensayo de expansión a la humedad y al craquelado (ISO 10545, EN y ASTM), de la misma manera al ensayo de ataque químico (Norma ISO 10545-13 y ASTM C 650-83), para finalizar con el ensayo de resistencia a las manchas hace referencia a la norma ISO 10545-14, de esta manera el autor clasifica los pisos cerámicos en seis grupos (0, I, II, III, IV y V) según el uso y la resistencia que presenta las baldosas cerámicas.

Rosales J. Yefry (Guatemala, 2004) en su trabajo de investigación “Ensayos para morteros adhesivos de revestimientos cerámicos” estudia la historia, propiedades, características, funciones, elección del revestimiento cerámico y mortero adhesivo adecuados basándose en las normas europeas (EN) para morteros adhesivos.

El autor realiza el estudio de dos tipos de morteros adhesivos de revestimiento cerámicos: mortero adhesivo A (compuesto de cemento, minerales y agregados químicos) y mortero adhesivo B (adhesivo blanco usado para la instalación de recubrimientos cerámicos) para posteriormente realizar ensayos de adherencia, tamizado, deslizamiento, determinación del tiempo de corrección, determinación de tiempo abierto y pérdida por calentamiento a 110°C.

El autor llega a comprobar que la capacidad de deformación y la plasticidad de un mortero adhesivo son las causas principales para garantizar la durabilidad y eficacia a tiempo prolongada. Concluyendo que los adhesivos deben tener la capacidad de absorber las tensiones entre los materiales de recubrimiento y el soporte, para evitar daños como agrietamientos o desprendimientos. Al obtener los resultados en los ensayos de laboratorio en los morteros adhesivos A y B, se pudo conocer que hay diferencia entre estos mismos, calificando al mortero A en los ensayos de mayor importancia, tiempo

de corrección, tiempo abierto, y adherencia; cumpliendo en cada uno de ellos mientras que el mortero B no cumple ninguno de estos ensayos.

El autor recomienda que al momento de la utilización de un revestimiento cerámico sea identificando el tipo, capacidad de absorción de agua, método de fabricación y algún otro dato técnico de interés que proporcione el fabricante, para después poder determinar cuál el mortero adhesivo apropiado que garantice una buena instalación de dichos revestimientos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Mogollón B. Javier E. (Perú, 2006) en su informe de suficiencia “Morteros secos en el campo de la construcción” detalla conceptos, definiciones sobre los morteros secos, desarrollo histórico, clasificación de los morteros de acuerdo a la fabricación y aplicación de los mismos, ventajas del uso de morteros secos; así como las materias primas usadas en la producción de estos morteros. El autor estudia la composición de los morteros secos, centrándose principalmente en las materias primas empleadas en la fabricación de estos, ya que las características y propiedades deseadas en un mortero seco están definidas por los aditivos empleados en su preparación; de la misma manera realiza un estudio de la producción industrial de los morteros secos, así como algunos ensayos aplicados a los morteros antes y luego de su endurecimiento, y profundiza sobre la situación de los morteros secos en el Perú.

## 22 Bases teóricas

### 2.2.1. Adhesivos para colocación de baldosas cerámicas

Son materiales para la colocación de baldosas cerámicas que se fabrican industrialmente y se suministran en uno o varios componentes para su aplicación por el sistema de capa delgada. Tradicionalmente se conocían como cementos cola o morteros cola, sin embargo, con la aprobación de la norma europea UNE-EN 12004 se ha adoptado un término más específico a su función denominándose “Adhesivos para la colocación de baldosas cerámicas” porque a los tradicionales elaborados a base de cemento (morteros cola) se integran los adhesivos de dispersión (pastas adhesivas) y los adhesivos de resinas de reacción. Este cambio viene dado por la evolución de la industria de la baldosa que ha incorporado piezas de mayor tamaño y de menor absorción, como el gres porcelánico, lo que ha generado nuevos requerimientos para el pegado de esas piezas, provocando asimismo una evolución en la industria de los adhesivos que ha desarrollado productos que aseguran una colocación duradera, lo que era inviable con un mortero tradicional. (ANFAPA, 2008).



**Figura 1.** Adhesivos para la colocación de cerámicas  
<https://www.google.com/search?q=adhesivo+para+colocacion+de+ceramicas&tbm=isch&tbs>

### **2.2.2. Norma europea EN 12004**

La norma europea EN 12004:2001, aclara en sus apartados, la terminología para los adhesivos de colocación de baldosas cerámicas. (ANFAPA, 2008). Tomando como referencia para los métodos de ensayo, a las normas siguientes:

- EN 1346: Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del tiempo abierto. (ANFAPA, 2008)
- EN 1308: Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del deslizamiento. (ANFAPA, 2008)
- EN 1324: Adhesivos baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la cizalladura de los adhesivos en dispersión. (ANFAPA, 2008)
- EN 1348: Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la tracción de los adhesivos cementosos. (ANFAPA, 2008)
- EN 1323: Adhesivos baldosas cerámicas. Placas de hormigón para ensayos. (ANFAPA, 2008)
- EN 12003: Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la cizalladura de los adhesivos de resinas reactivas. (ANFAPA, 2008)
- EN 12002: Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la deformación transversal de adhesivos y materiales de rejuntado cementosos. (ANFAPA, 2008)

En noviembre del año 2017, las normas anteriormente mencionadas fueron anuladas y remplazadas por la norma UNE-EN 12004-2 “*Adhesivos para baldosas cerámicas Parte 2: Métodos de ensayo*”, la cual especifica los métodos para determinar las características de los adhesivos utilizados para la colocación de baldosas cerámicas en interiores y exteriores.

**Tabla 1***Denominación de los adhesivos según norma EN 12004*

DESIGNACIÓN		ADHESIVO CEMENTOSO
TIPO	CLASE	
C	-	Adhesivo cementoso de uso exclusivo en interiores
C	1	Adhesivo cementoso normal
C	1F	Adhesivo cementoso normal de fraguado rápido
C	1T	Adhesivo cementoso normal con deslizamiento reducido
C	1FT	Adhesivo cementoso normal de maduración rápida con deslizamiento reducido
C	2	Adhesivo cementoso mejorado
C	2E	Adhesivo cementoso mejorado y tiempo abierto ampliado
C	2F	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado rápido
C	2T	Adhesivo cementoso mejorado y con deslizamiento reducido
C	2TE	Adhesivo cementoso mejorado, deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado
C	2FT	Adhesivo cementoso mejorado, de fraguado rápido y deslizamiento reducido
D	1	Adhesivo en dispersión normal
D	1T	Adhesivo en dispersión normal con deslizamiento reducido
D	2	Adhesivo en dispersión mejorado
D	2T	Adhesivo en dispersión mejorado y deslizamiento reducido
D	2TE	Adhesivo en dispersión mejorado, deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado
R	1	Adhesivo normal de resinas de reacción
R	1T	Adhesivo normal de resinas de reacción con deslizamiento reducido
R	2	Adhesivo de resinas de reacción mejorado.

---

Ramos, 2008 (Extraído de la norma EN 12004)

### 2.2.3. Tipos de adhesivo según norma EN 12004

La norma UNE EN 12004 establece tres tipos de adhesivos, con una definición general para cada uno:

- a. **Adhesivo cementoso:** Mezcla de conglomerantes hidráulicos, cargas minerales y aditivos orgánicos, que se mezclan con agua o adición líquida en su preparación. Se les identifica con la letra C.
- b. **Adhesivos en dispersión:** Mezcla de conglomerante(s) orgánico(s) en forma de polímero en dispersión acuosa, aditivos orgánicos y cargas minerales, que se presenta lista para su uso. Se les identifica con la letra D.
- c. **Adhesivos de resinas reactivas:** Mezcla de resinas sintéticas, aditivos orgánicos y cargas minerales cuyo endurecimiento resulta de una reacción química, y que se comercializan en forma de uno o más componentes. Se les identifica con la letra R. (Ramos, 2008, p. 18).

Para cada tipo existen dos clases:

- ✓ **1** Adhesivo normal (características fundamentales).
- ✓ **2** Adhesivo mejorado (características adicionales).

Además, se contemplan tres características opcionales:

- **F** Adhesivo de fraguado rápido (solo para adhesivo cementoso).
- **T** Adhesivo con deslizamiento reducido
- **E** Adhesivo con tiempo abierto prolongado (solo para adhesivo cementoso mejorado C2 y adhesivo en dispersión mejorado D2). (ANFAPA, 2008).

**Tabla 2***Especificación de los adhesivos tipo cementoso según norma EN 12004*

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES													
1 a	ADHESIVOS DE FRAGUADO NORMAL (C1)												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Requisito</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Adherencia inicial</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Adherencia después de inmersión en agua</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Adherencia después de envejecimiento con calor</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Adherencia después de ciclos hielo-deshielo</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Tiempo abierto: adherencia</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math> después de 20 min</td> </tr> </tbody> </table>	Características	Requisito	Adherencia inicial	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	Adherencia después de inmersión en agua	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	Adherencia después de envejecimiento con calor	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	Adherencia después de ciclos hielo-deshielo	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 20 min
Características	Requisito												
Adherencia inicial	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$												
Adherencia después de inmersión en agua	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$												
Adherencia después de envejecimiento con calor	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$												
Adherencia después de ciclos hielo-deshielo	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$												
Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 20 min												
1 b	ADHESIVOS DE FRAGUADO RÁPIDO (F)												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Requisito</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Adherencia inicial</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math> antes de 24 h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo abierto: adherencia</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math> después de 10 min</td> </tr> </tbody> </table>	Características	Requisito	Adherencia inicial	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ antes de 24 h	Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 10 min						
Características	Requisito												
Adherencia inicial	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ antes de 24 h												
Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 10 min												
CARACTERÍSTICAS OPCIONALES													
1 c	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES (T)												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Requisito</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Deslizamiento</td> <td><math>\leq 0,5 \text{ mm}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Características	Requisito	Deslizamiento	$\leq 0,5 \text{ mm}$								
Características	Requisito												
Deslizamiento	$\leq 0,5 \text{ mm}$												
1 d	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES (C2)												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Requisito</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alta adherencia inicial</td> <td><math>\geq 1 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Alta adherencia después de inmersión en agua</td> <td><math>\geq 1 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Alta adherencia después de envejecimiento con calor</td> <td><math>\geq 1 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Alta adherencia después de ciclos de hielo-deshielo</td> <td><math>\geq 1 \text{ N/mm}^2</math></td> </tr> </tbody> </table>	Características	Requisito	Alta adherencia inicial	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	Alta adherencia después de inmersión en agua	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	Alta adherencia después de envejecimiento con calor	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	Alta adherencia después de ciclos de hielo-deshielo	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$		
Características	Requisito												
Alta adherencia inicial	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$												
Alta adherencia después de inmersión en agua	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$												
Alta adherencia después de envejecimiento con calor	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$												
Alta adherencia después de ciclos de hielo-deshielo	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$												
1 e	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES (E)												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Requisito</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiempo abierto ampliado: adherencia</td> <td><math>\geq 0,5 \text{ N/mm}^2</math> después de 30 min</td> </tr> </tbody> </table>	Características	Requisito	Tiempo abierto ampliado: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 30 min								
Características	Requisito												
Tiempo abierto ampliado: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 30 min												

Asociación nacional de fabricantes de morteros ANFAPA (Extraído de la norma EN 12004)

#### **2.2.4. Tipos de adhesivos y sus características**

De acuerdo con las definiciones, características fundamentales, opcionales y especiales, podemos clasificar los adhesivos de la siguiente manera:

##### **a. Adhesivos cementosos (C)**

- En ensayo de adherencia inicial y de tiempo abierto nos acercan al comportamiento del adhesivo en un proceso de hidratación media/alta, aunque en condiciones reales de mayor temperatura, menor humedad ambiental y mayor circulación de aire, ambas características se verán afectadas negativamente.
- El ensayo de adherencia tras inmersión en agua nos ofrece información sobre el comportamiento del adhesivo a hidratación completa. También si se produce re-dispersión de la resina.
- Los ensayos de adherencia detrás del envejecimiento con calor y ciclos de hielo/deshielo son determinantes para evaluar el papel de la resina polimérica, como protectora del proceso de hidratación del cemento en el primer caso y como reductora de la porosidad y tamaño de poro en el segundo. El resultado del ensayo depende tanto del tipo de resina utilizado como de su cantidad (proporción polímero/cemento).
- La consecución de deformabilidad depende también del tipo y contenido de polímero. El resultado del ensayo de deformación transversal nos da información sobre esta importante característica para una hidratación media/alta. Con polímeros blandos y relaciones polímero/cemento entre el 11% y 17% alcanzamos adhesivos deformables, y con porcentajes mayores adhesivos muy deformables. (Ramos, 2008, p. 22)

**b. Adhesivos en dispersión (D)**

- Confieren adherencia química sobre todo tipo de superficies y baldosas; sin embargo, el proceso de endurecimiento tiene lugar por evaporación del agua o disolventes, lo que limita el formato de la baldosa, en función también de la absorción de la superficie de colocación y la anchura de la junta.
- Se reblandecen en contacto con agua perdiendo adherencia, los adhesivos D2 tienen un mejor comportamiento, y se reservan para revestimientos interiores secos o mojados esporádicamente.
- Su principal característica es la alta deformabilidad. También su facilidad de aplicación, dado que se comercializan listos para su uso. (Ramos, 2008, p. 22).

**c. Adhesivos de resinas reactivas (R)**

- De naturaleza exclusivamente química, son los de mayor adherencia sobre todo tipo de soportes y baldosas, con un buen comportamiento en inmersión.
- Confieren alta impermeabilidad y algunas variedades son resistentes a los cambios bruscos de temperatura (R2) o altamente deformables (los basados en poliuretano).
- Pueden catalogarse como resistentes al ataque químico, con mayor o menor resistencia en función del producto químico específico, concentración y tiempo de exposición.
- Son inconvenientes, su precio y sus condiciones restringidas de manipulación y aplicación, debido a su sensibilidad a la temperatura. (Ramos, 2008, p. 22).

## **2.2.5. Composición de los adhesivos**

### **a. Conglomerantes hidráulicos**

Son materiales cuya propiedad es de juntar fragmentos de diferentes sustancias y para dar adherencia al compuesto por transformaciones químicas, produciendo nuevos compuestos. Se obtienen a partir de materiales naturales tratados térmicamente (cocción en horno o caldera). Ejemplos: yesos, cales y cementos. (CONSTRUMÁTICA, s.f.).

Hoy en día se utilizan principalmente tres tipos de cemento hidráulico para los adhesivos de colocación: el cemento portland (PC), el cemento puzolánico portland (PPC) y el cemento con alto contenido de alúmina (HCA).

El cemento es un producto artificial, que se obtiene de la transformación de una materia prima, que puede estar compuesta de una mezcla de calizas, arcillas y otros minerales, o simplemente de calizas. Esta materia prima finamente molida y homogenizada, es llevada a altas temperaturas, a través de un horno (rotativo o vertical), de donde se obtiene un producto intermedio denominado Clinker, del cual, al molerse finamente con alrededor de 5 % en peso de yeso di hidrato, se obtiene el cemento. (Chipana Montecinos & Luna Maydana, 2018, p.12).

### **b. Áridos**

Los áridos sirven de refuerzo y componente estructural para agregar resistencia al mortero de colocación. Proporciona densidad de empaquetamiento, resistencia a la flexión y durabilidad. El árido puede ser a base de cuarzo, piedra caliza y sílice. (Chipana Montecinos & Luna Maydana, 2018, p. 14).

Los áridos que son parte de morteros son materiales inorgánicos de varios tamaños. Tiene propiedades inertes frente a los componentes del cemento o agentes externos como el aire, agua, hielo, etc. Pero si afectan terminantemente en las propiedades físicas del mortero cuando se mezcla a un conglomerante. Los áridos que son aceptables son aquellos que no contengan sulfuros oxidables, silicatos inestables, componentes de hierro inestables. (CONSTRUMÁTICA, s.f.)

Si bien las arenas no son parte activa en el tiempo de fraguado ni de la dureza del mortero, su rol es considerable para las características del material, pues constituyen la mayor parte del volumen mortero siendo esencial para la elaboración de los adhesivos. (CONSTRUMÁTICA, s.f.)

### **c. Aditivos químicos**

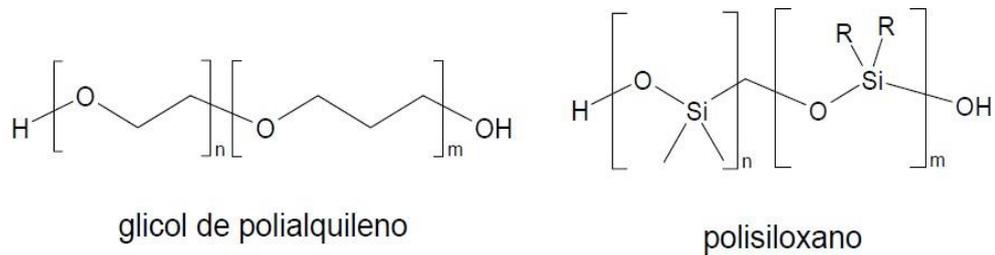
Los aditivos químicos son los ingredientes mágicos que proporcionan a los adhesivos de colocación modernos sus propiedades únicas. El contenido de estos aditivos se encuentra generalmente por debajo del 1%. Solamente los polímeros redispersables se aditiva en concentraciones superiores. Los aditivos químicos pueden agregarse únicamente en forma de polvo a la composición de mezcla seca. Si se utilizan varios aditivos, es necesario que sean compatibles entre sí. (Felixberger, 2008, p. 12).

#### **▪ Aceleradores**

Los aceleradores se utilizan a menudo en las aplicaciones realizadas en épocas frías para incrementar la velocidad del fraguado y/o la resistencia temprana de los adhesivos de colocación. El cloruro de calcio, el formato de calcio o el carbonato de litio son aceleradores comercialmente disponibles. Una dosificación típica de adición de estos aditivos es de aproximadamente 0,5 %. (Felixberger J., 2008, p. 13).

#### **▪ Antiespumantes**

El propósito principal de los antiespumantes secos en polvo es la reducción del arrastre de aire en el mezclado de la mezcla seca en polvo a alta velocidad con el agua de mezclado. Los glicoles de polialquileno o los polisiloxanos puestos en un portador de sílice presentan un buen comportamiento. (Felixberger J., 2008, p. 13).



**Figura 2.** Representación de los antiespumantes secos en polvo  
Felixberger J., 2008, p. 13

- **Polvos poliméricos redispersables**

La segunda generación de los adhesivos de colocación en capa delgada, los llamados adhesivos de colocación flexibles modificados con polímeros, se introdujeron en el mercado a principio de la década de 1980. Hicieron posible la colocación segura de baldosas en los sistemas de suelo radiante, terrazas y balcones. Incluso las baldosas completamente vitrificadas y las baldosas de vidrio podían colocarse sin problemas, debido a la adherencia excelente del mortero elastificado al dorso de la baldosa. El polvo polimérico redispersable elastificado inventado por la empresa Wacker Chemie en 1953 fue la clave para este salto cuántico de la tecnología de colocación en capa delgada. Ohama Y. (citado en Felixberger J., 2008).

Los polvos poliméricos redispersables son materiales poliméricos orgánicos elaborados por atomización. Las dispersiones de látex se elaboran por la polimerización de la emulsión. La emulsión de partida consiste en unos monómeros insolubles al agua (p. ej. el acetato de vinilo, versatato de vinilo, etileno, estireno, ésteres ácidos metacrílicos, etc.) y un tensioactivo (emulgador) en una fase continua de agua. Los llamados coloides protectores solubles al agua (p. ej. el alcohol de polivinilo o los éteres de celulosa) se aditivan para estabilizar las micelas de la emulsión. La polimerización se inicia con la adición de los persulfatos o de los peróxidos (iniciadores) a la emulsión. Ohama Y. (citado en Felixberger J., 2008).

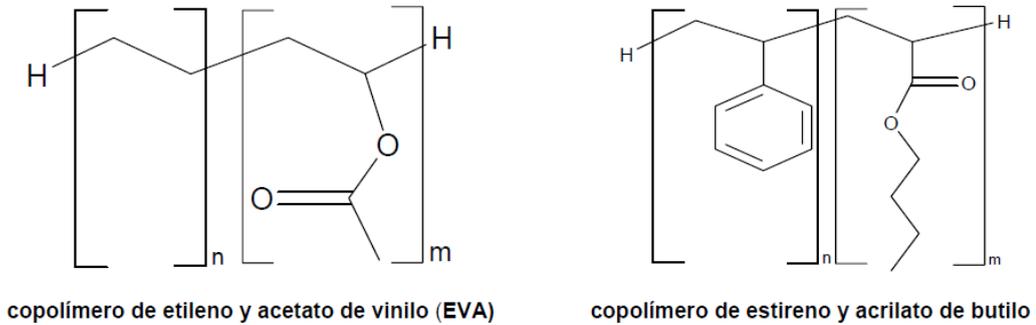
Al final del proceso de polimerización, se obtiene una dispersión polimérica lechosa que contiene un 40 a 70 % de partículas de látex con un diámetro de 0,1 a 20  $\mu\text{m}$ . Las redes con un tamaño de partícula superior a 1  $\mu\text{m}$

presentan un aspecto blanco y lechoso. Las partículas de látex en el intervalo de 0,1 a 1  $\mu\text{m}$  dan lugar a emulsiones azules o parduscas. La emulsión se atomiza a continuación para obtener el polvo polimérico. Para eso, la emulsión de látex se atomiza en forma de gotitas finas a través de una boquilla en la torre de atomización. Al mismo tiempo, el agua de las gotitas de la emulsión se elimina mediante el soplado de aire caliente a través de la torre de atomización. Un agente antiaglomerante (p. ej. la sílice fumé,  $\text{CaCO}_3$ ) se agrega durante el proceso de secado por atomización para evitar la aglutinación del polvo redispersable todavía pegajoso. El polvo polimérico seco se transporta de forma neumática desde la torre de atomización y se separa por medio de un ciclón de aire húmedo. La “redispersabilidad” significa que las partículas poliméricas secas de tamaño de 100 a 500  $\mu\text{m}$  se dispersan en las partículas primarias de látex de la emulsión (0,1 a 20  $\mu\text{m}$ ) cuando la mezcla se agita con agua. Ohama Y. (citado en Felixberger J., 2008).

Las regiones poliméricas que trabajan como aglomerante orgánico en la matriz del adhesivo de colocación se desarrollan después de la evaporación del agua del mortero por medio de la coalescencia de las partículas individuales del látex. Las regiones poliméricas proporcionan una mejor adherencia en la interfase del mortero/sustrato y del mortero/baldosa. Las principales ventajas de los polvos poliméricos redispersables en los adhesivos de colocación en capa delgada son:

- ✓ El mejor anclaje del adhesivo con el sustrato y con las baldosas completamente vitrificadas, respectivamente, mejora la capacidad de adherencia bajo tracción y resistencia a cizalladura
- ✓ La mayor flexibilidad reduce la tensión de cizalladura en el sistema compuesto del sustrato, adhesivo de colocación y baldosa, y permite la colocación en los sustratos de cemento jóvenes, todavía en proceso de retracción.
- ✓ Las propiedades reológicas mejoradas dan lugar a un mezclado más fácil, una procesabilidad más lisa y una buena humectación de las baldosas. Las emulsiones poliméricas utilizadas típicamente para los adhesivos de colocación son los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) o de estireno y acrilato de butilo.

La dosificación del polvo polimérico redispersable en los adhesivos cementosos de colocación en capa delgada se sitúa en el intervalo de 0 a 5 %. (Felixberger, 2008)

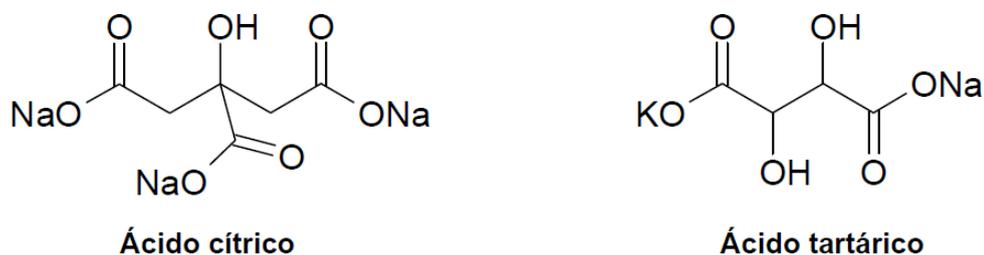


**Figura 3.** Representación de los polvos poliméricos redispersables  
Felixberger J., 2008, p. 15

▪ **Agentes retardantes**

Los agentes retardantes tienen la función de prolongar el tiempo de fraguado del cemento para que los morteros plásticos al estado sólido, alteran el periodo de solidificación. Los agentes retardantes prolongan el tiempo de trabajabilidad del mortero sin alterar las resistencias (CONSTRUMÁTICA, s.f.).

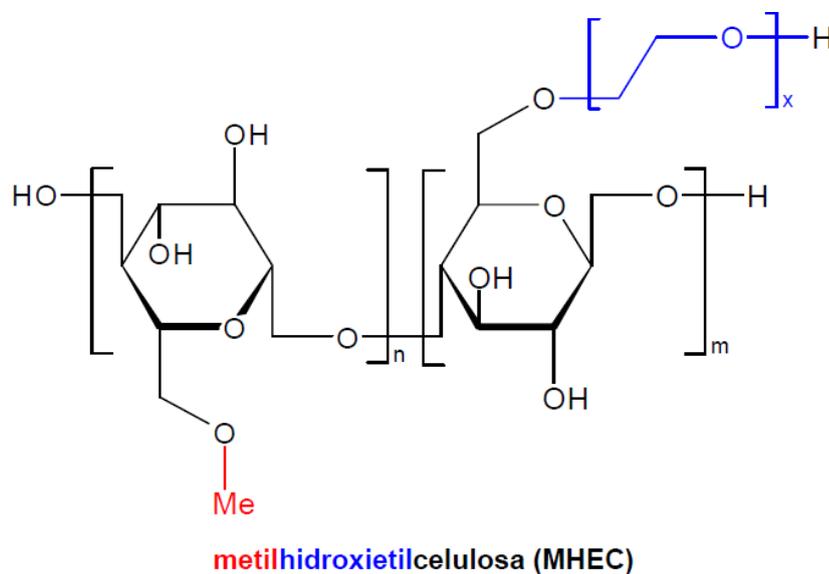
La principal aplicación de los retardantes es en enlucidos de yeso y morteros para juntas base yeso. Sin el uso de agentes retardantes, el fraguado del yeso sería muy rápido. Son usados diferentes retardantes, principalmente sales de frutas ácidas, tales como ácido tartárico o cítrico y ácidos sintéticos. La dosificación típica está entre 0,05 - 0,25%. Bayer R & Lutz H. (citado en Mogollón Babbage, 2006, p.34)



**Figura 4.** Principales sales de frutas ácidas usados como retardantes  
Felixberger J., 2008, p. 15

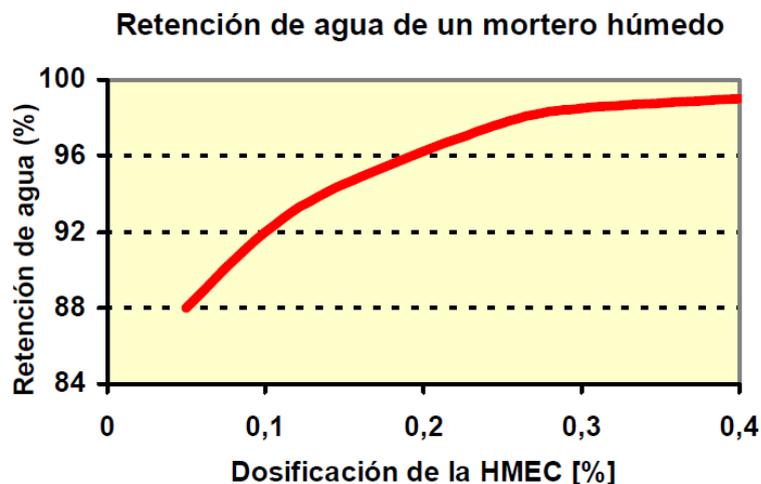
- **Retenedores de agua**

Los éteres de celulosa son utilizados en los morteros secos como agentes espesantes y agentes retenedores de agua. Los éteres de celulosa son de una gran importancia como aditivos, a pesar de que la proporción de adición es muy baja (normalmente entre 0,02 - 0,7%). Entre todos los aditivos, los éteres de celulosa junto con los polvos redispersables son los causantes del más amplio rango de efectos sobre los morteros secos.



*Figura 5.* Estructura química del Metilhidroxietil celulosa retenedor de agua  
Felixberger J., 2008, p. 17

Los éteres de celulosa principalmente usados en los morteros secos son: metil hidroxietil celulosa (MHEC) y metil hidroxipropil celulosa (MHPC). Juntas, ellas tienen una participación de mercado en los morteros secos de por lo menos 90%. Coloquialmente son todavía llamadas "metil celulosas", a pesar de que hoy en día la metil celulosa pura tiene una muy pequeña participación de mercado. Otros éteres de celulosa de relevancia técnica, pero con pequeña participación en el mercado de morteros secos son: etil hidroxietil celulosa (EHEC) y la hidroxietil celulosa (HEC). Como la carboximetil celulosa (sodio) no es estable ante la presencia de iones de calcio, es usada en pocas aplicaciones como espesante. Bayer R & Lutz H. (citado en Mogollón Babbage, 2006, pp. 28-29).



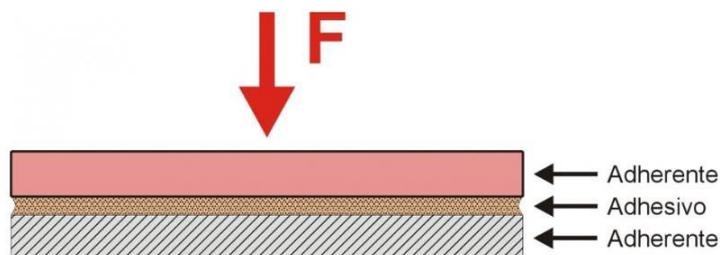
**Figura 6.** Retención de agua en función de la dosificación de la HMEC  
Felixberger J., 2008, p. 18

### 2.2.6. Propiedades de los adhesivos

Entre las propiedades fundamentales de los adhesivos o morteros tenemos:

#### a. Adherencia

La adherencia se da entre dos o más materiales, definidos como un adherente y un segundo material que ha de proporcionar la unión de ambos, denominado junta o unión adhesiva. (ANFAPA, 2008). También definido como la facultada de transmitir una fuerza originada en el adherente por medio de la unión adhesiva. El incremento de la adherencia es directamente proporcional a la absorción de la energía mecánica, proporcionado por la unión adhesiva. (ANFAPA, 2008).

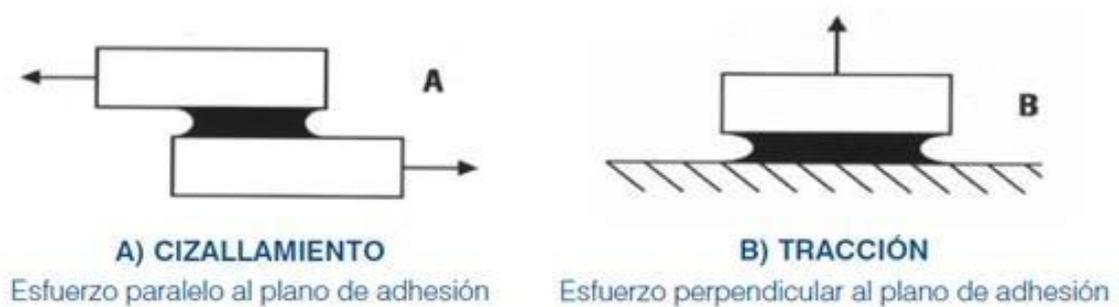


**Figura 7.** Representación del fenómeno de adherencia  
<https://www.Anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/179/introduccion-1>

Para poder determinar la adherencia, bajo la normalización respectiva, se ha de aplicar a la unión adhesiva un esfuerzo de mecánico, capaz de provocar pérdida de cohesión o rotura. (ANFAPA, 2008)

Existen dos métodos normalizados para medir la adherencia:

- **Fuerza de tracción**, es el esfuerzo perpendicular aplicado al plano de adhesión.
- **Fuerza de cizallamiento**, es el esfuerzo paralelo aplicada al plano de adhesión. (Ramos, 2008, p. 10)



*Figura 8.* Métodos normalizados para medir la adherencia  
Asociación nacional de fabricantes de morteros (ANFAPA, 2008)

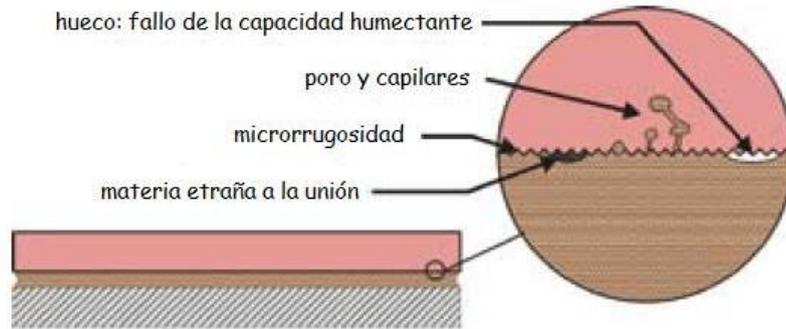
Las unidades de presión se expresan en Kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado ( $Kp/cm^2$ ), Newtons por milímetro cuadrado ( $N/mm^2$ ) o Megapascales (MPa) siendo la equivalencia entre ellas (ANFAPA, 2008):

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2 \approx 10 \text{ Kp/cm}^2$$

Se pueden definir 2 tipos de adherencia:

- **Adherencia mecánica.**

Cuando en un recubriendo cerámico hablamos de adherencia mecánica nos referimos a un tipo de adherencia basados en la cohesión del adhesivo alcanzada en el proceso de hidratación de un mortero. (ANFAPA, 2008).



**Figura 9.** Representación del fenómeno de adherencia mecánica  
 Extraído de ANFAPA (Ramos, 2008)

Se caracteriza por:

- ✓ El acoplamiento mecánico entre adhesivo y adherente
  - Textura o micro rugosidad superficial del adherente.
  - Porosidad y capilaridad de adherente y cinética de penetración del adhesivo en poros y capilares.
- ✓ La capacidad humectante o mojante del adhesivo

La cohesión del sistema en aglomerados de cemento se alcanza tras un proceso de maduración que se materializa con la formación de silicato cálcico hidratado entre otros compuestos. (ANFAPA, 2008).

- **Adherencia química.**

La denominación de adherencia química proviene del hecho que en la mayoría de los casos interviene la química orgánica en la consecución de la adhesión. La incorporación de resinas poliméricas en los morteros para la colocación de recubrimientos cerámicos mejora considerablemente sus propiedades en fresco y finales. (Ramos, 2008, p. 11).

Este valor se determina mediante ensayos mecánicos realizados a probetas endurecidas en distintas condiciones de conservación. Para ello en la norma europea EN 12004 se han establecido lo siguiente:

### **i. Adherencia inicial**

Mide la adherencia del adhesivo conservado en condiciones ideales de temperatura y humedad relativa, totalmente estables a lo largo del tiempo. Este ensayo vendría a simular, por ejemplo, un alicatado en interiores en zonas templadas sin choques térmicos importantes.

### **ii. Adherencia después de inmersión en agua**

Mide la adherencia tras someter al sistema soporte-adhesivo-baldosa a ciclos de inmersión en agua y secado posterior.

Se trata de reproducir en el ensayo posibles ataques por agua en diferentes supuestos como por ejemplo colocaciones interiores con posibilidad real de inundación o humedad significativa y prolongada, piscinas, depósitos, etc. sin acción de choque térmico. (ANFAPA, 2008).

### **2.2.7. Ventajas del uso de recubrimiento cerámico**

Son productos resistentes al desgaste, impermeables, de muy fácil limpieza y mantenimiento, por lo que forman un piso higiénico. Es incombustible resistente a cambios de temperatura, tiene dilatación mínima, al derramar líquidos o sustancias. No se manchan debido a su impermeabilidad.

Debido a la gran variedad de colores, matices y texturas, los pisos cerámicos se prestan para una gran cantidad de aplicaciones y diseños atractivos. El estucado puede hacerse agregando colorantes, con los que se pueden obtener efectos interesantes adicionales (Galan & Aparicio, s.f., p 33).

### **2.2.8. Desventajas del uso de recubrimiento cerámico**

Entre las desventajas podemos mencionar:

- ✓ Son duras y pueden causar molestias en el pie, sobre todo si tenemos que estar de pie durante mucho tiempo.
- ✓ Desgaste en lugares muy transitados por personas.
- ✓ Con el paso de los años se vuelven decolorados, es decir pierden el color.
- ✓ Difícil instalación, aunque es un trabajo que teóricamente podría ser realizado por un aficionado, es un trabajo arduo y difícil que requiere mucho

tiempo. Se recomienda el uso de un profesional en la materia. (Pisos y Revestimientos, s.f.).



**Figura 10.** Decoloración de baldosa cerámica  
<https://www.digfineart.com/XLqAavgLy/>

**Tabla 3***Minerales usados como materia prima para baldosas cerámica*

	MINERALES	FORMULAS	TIPOS DE YACIMIENTOS FRECUENTES
Formas de la sílice	cuarzo	SiO <sub>2</sub>	Cuarcitas areniscas, diques de vidrios volcánicos. Sedimentos de precipitación química.
	ortoclasa		
Feldespatos	Microclina Plagioclasas	KS <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Al	Pegmatitas. Arenas de descomposición de granitos gneises
Nesosilicatos aluminicos y	Andalucita Silimanita Distena	Al <sub>2</sub> OSiO <sub>4</sub>	Aureolas de metamorfismo de rocas ígneas en sedimentos arcillosos. Gneises. Esquistos y pegmatitas
otros minerales de aluminio	Corindos	γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pegmatitas pobres en sílice. Rocas ricas en Al metamorfizadas. Pizarras aluminicas de metamorfismo regional bajo
	Pirofilita	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	
	Olivino	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (forsterita)	rocas ultrabasicas
	Talco Cordierita Magnesita	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub> Si <sub>5</sub> AlO <sub>18</sub> Al <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>3</sub> (Si,	Dolomias silicificadas serpentinas y olivinos alterados. Ambientes metasomaticos. Hidrotermal y de metamorfismo regional Rocas de Mg y Al fuertemente metamorfizadas. Esquistos y gneises inyectados por rocas ígneas. Series carbonatadas metamorfizadas. Asociada a serpentina Mármoles
Silicatos Magnesicos y otros minerales de Mg			
	Vermiculita	Al <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> - 4H <sub>2</sub> O	Pegmatitas maficas. En serpentinas. Alteración de biotitas.
	Sepiolita	Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub> (OH) <sub>4</sub> Mg <sub>8</sub> - 4H <sub>2</sub> O	Rocas básicas y perperntinitas alteradas. Cuencas desimentarias continentales básicas.
	Wollastonita	CaSiO <sub>3</sub>	Calizas impuras metamorfizadas
	Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	Placeres. Accesorios en rocas plutónicas y metamórficas acidas.
Otros Minerales	Cromita	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Rocas ultrabasicas. Placeres

**Tabla 4***Principales rocas utilizadas como materia prima cerámica*

NOMBRE DE LA ROCA	MINERALOGÍA ESENCIAL	FÓRMULA MINERAL
Caolín	Caolinita y metahalloysita Halloysita Feldespato. Cuarzo Illita (mica degradada y de tamaño pequeño)	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \cdot 4H_2O$
Arcilla refractaria	Caolinita, cuarzo, illita Gibbsita	
Bauxita	Diásporo Bohemita Cuarzo, caolinita, óxidos de Fe	$Al(OH)_3$ $\alpha - AlO(OH)$ $\gamma - AlO(OH)$
Granito	Cuarzo, feldespatos Moscovita Biotita	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ $K(Al, Mg, Fe)_3Si_3AlO_{10}(OH, F)_2$
Pizarra	Cuarzo, feldespatos, illita Clorita	$(Mg, Fe, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$
Caliza	Calcita, aragonito	$CaCO_3$
Dolomía	Dolomita	$(Ca, Mg)(CO_3)_2$
Serpentina	Crisotilo y antigorita	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
Arenisca, cuarcita	Arenisca, Cuarzo cuarcita	
Arcillas cerámicas	Cuarzo, calcita, dolomita, caolinita, illita, clorita, vermiculita, óxidos de Fe, montmorillonita	$(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4(OH)_2O_{10} \cdot X^+ 0,7.nH_2O$

Galan &amp; Aparicio, s.f.

### 2.2.9. Reología

La palabra reología significa etimológicamente "estudio del flujo" (del griego reos: fluir y logos: ciencia) y fue propuesta por E.C.Bingham para definir la rama de la ingeniería cuyo objetivo es el conocimiento fundamental y práctico de la deformación o flujo de la materia. Hoy en día se acepta que la reología es una ciencia interdisciplinaria cuyo objeto es el estudio de la deformación y/o características del flujo de la materia debido a la acción de fuerzas mecánicas externas. (Ranalli Natalia, 2015).

### 2.2.10. Modelos reológicos

#### a. Ley de potencia (Ostwald and de Waele)

Uno de los modelos que más se conoce para expresar el comportamiento no newtoniano de los polimeros fundidos es la ley de potencia.(Condor Navarro, 2008). La ley de potencia en su forma básica, relaciona el esfuerzo de corte en el fluido con la velocidad de deformación de la siguiente manera:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

Donde: "τ" es el esfuerzo cortante, "K" es una constante del material llamada factor de consistencia, "γ̇" es la velocidad de deformación, y "n" es el exponente de la ley de potencia. La viscosidad del fluido puede ser expresada entonces como:

$$\mu = K \cdot (\dot{\gamma})^{n-1}$$

Donde "μ" es la viscosidad aparente del fluido a una velocidad de deformación (por corte) específica. Para evitar problemas dimensionales, la ley de potencia se puede expresar de la siguiente forma:

$$\mu = \mu_0 \cdot \left( \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right)^{n-1}$$

Donde "μ<sub>0</sub>" es la viscosidad del fluido a una velocidad de deformación de referencia, γ̇<sub>0</sub>, como "n" es menor que 1, "n-1" es negativo. Para evitar singularidades, la ley de potencia se suele usar en su forma truncada, es decir, para velocidades de deformación menores a la de referencia, la viscosidad toma

un valor constante. Esta arbitrariedad representa cualitativamente el comportamiento real de varios polímeros fundidos. (Torres, 2000, pp. 37-38).

#### **b. Modelo de Bingham**

También conocido como modelo de cuerpo plástico, es comportamiento son de aquellos cuerpos que necesitan una mínima presión para que estos cuerpos se desplacen o fluyan. Al sobrepasar este valor crítico el fluido obedece un comportamiento newtoniano.

Esto se expresa por:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}$$

Donde:

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de deformación

$\tau$  = Esfuerzo de corte.

**K**= Índice de consistencia del material. Cheftel (citado en Tinoco Oscanoa, 2016).

#### **c. Modelo de Herschel–Bulkley**

Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos Plástico de Bingham y Ley de Potencia. La siguiente ecuación describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\tau = \tau_y + (K\dot{\gamma}^n)$$

En este modelo los parámetros “n” y “K” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando  $n = 1$  y en Ley de Potencia cuando  $\tau_y = 0$ . (Tinoco Oscanoa, 2016).

#### d. Modelo de Mizari y Berk

Colato, A., Faria F. R. y Park K. (citados en Tinoco Oscanoa, 2016) afirman: “Los modelos reológicos de Herschell - Bulkley, ley de potencia o Ostwald-de-Waele y Mizhari Berk son los modelos que describen el comportamiento de un fluido pseudoplásticos, reduciendo el índice de comportamiento al flujo, con la variación positiva de la temperatura”.

$$\tau^{0.5} - k_{OM} = K_M(\dot{\gamma})^{n_M}$$

En donde:

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de deformación ( $s^{-1}$ )

$\tau^{0.5}$  = Esfuerzo de corte (Pa)

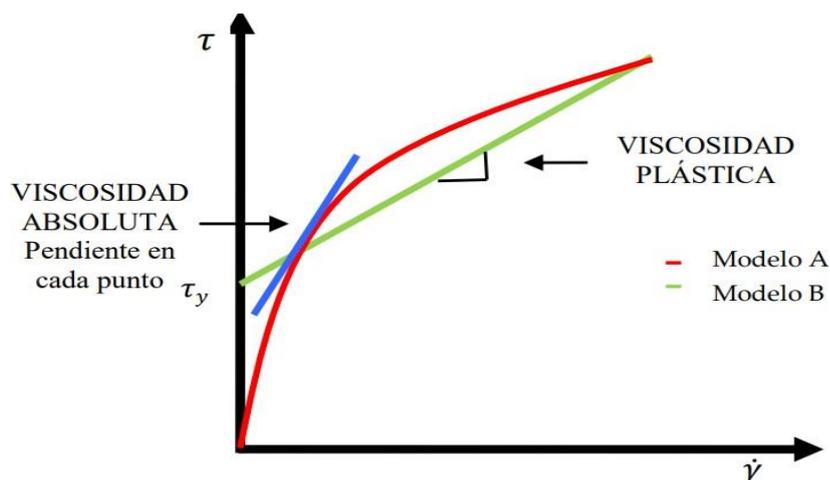
$K_{OM}$  = Raíz cuadrada de la tensión inicial de cizallamiento ( $Pa^{1/2}$ )

$n_M$  = Índice de comportamiento al flujo

$K_M$  = Índice de consistencia del material ( $Pa^{1/2} \cdot s^n$ ). (Tinoco Oscanoa, 2016)

#### 2.2.11. Viscosidad

La viscosidad es la característica de los fluidos, el cual es la oposición de ciertos cuerpos a desplazarse o fluir, al ser sometidos a tensiones de tracción o tensiones cortantes de manera progresiva. (Concepto.de, 2018).



**Figura 11.** Tipos de viscosidad  
Cardona Lapion & Bedoya Moreno, 2009, p. 16

### 2.2.12. Tipos de viscosidad

Generalmente se toman en cuenta tres tipos de viscosidad:

#### a. Viscosidad aparente “ $\eta$ ”

En su trabajo Sobrado Gómez (2018) menciona: “La relación existente entre la velocidad de deformación y el esfuerzo de corte, se determina como viscosidad aparente para aquellos fluido que obedecen un comportamiento no lineal”. (p.56). Al hablar de “viscosidad” para fluidos no Newtonianos se hace referencia a este término.

#### b. Viscosidad dinámica o absoluta “ $\mu$ ”

Denominada “ $\mu$ ”. Si se representa la curva de fluidez (esfuerzo cortante frente la velocidad de corte) se define también como la pendiente en cada punto de dicha curva. (Fernández F., 2009, p. 24).

#### c. Viscosidad cinemática “ $\nu$ ”

Es aquella viscosidad que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

$\nu$  : Viscosidad cinemática

$\mu$  : Viscosidad absoluta

$\rho$  : Viscosidad del fluido

### 2.2.13. Factores que afectan la viscosidad

En fluidos no newtonianos, la viscosidad puede estar afectada por distintos factores entre los que están; la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

#### a. Variación de la viscosidad con la temperatura

Para líquidos, el aumento de la temperatura se evidencia con la reducción de la resistencia a fluir del cuerpo, que se vuelve en un descenso de la viscosidad. Esto debido a que el aumento de temperatura aumenta la distancia entre moléculas, disminuyendo la interacción entre ellas, con lo que hay una disminución de la transmisión de cantidad de movimiento, y por ende de la viscosidad.

La variación de la viscosidad de un fluido con la temperatura se valora por su índice de viscosidad. Un fluido con un alto índice de viscosidad muestra un cambio pequeño de viscosidad con respecto a la temperatura. Un fluido con un bajo índice de viscosidad exhibe un cambio grande en su viscosidad con respecto a la temperatura.

Entre los métodos más conocidos para poder determinar la variación de la viscosidad con respecto de la temperatura en un líquido, podemos mencionar las siguientes ecuaciones (Llumiyinga Suquillo, 2012, pp. 5-6):

- **Ecuación de Arrhenius**

Su ecuación se determina en base a la teoría de que “La viscosidad disminuye conforme la temperatura aumenta, porque las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética”. Barnes H. (citado en Llumiyinga Suquillo, 2012).

$$\eta = A * e^{\frac{B}{T}}$$

Dónde:

- n** : Viscosidad aparente
- A, B** : Constante que dependen del fluido en cuestión
- T** : Temperatura absoluta en °C

- **Ecuación de Poiseville:**

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \alpha T + \beta T^2}$$

Donde:

- n<sub>0</sub>** : Viscosidad aparente °C
- α, β** : Constantes que dependen del fluido en cuestión
- T** : Temperatura en °C

Esto es cierto siempre que no haya alguna reacción de gelatinización, desnaturalización o cualquier formación de enlaces intermoleculares favorecida por la temperatura. Si la hubiere, hay que estudiar el caso concreto. Ramírez J. (citado en Llumiyinga Suquillo, 2012).

### **b. Variación de la viscosidad con la presión**

El incremento de la viscosidad en los líquidos, con la variación de la presión es de manera exponencial, según la siguiente ecuación. (Condor Navarro, 2008):

$$\eta \propto e^P$$

La variación de la viscosidad con respecto a la presión, es considerada bastante pequeña, para presiones diferentes a la atmosférica, por lo que para la mayor parte de casos prácticos los efectos de la presión se ignoran al momento de realizar mediciones. (Llumiquinga Suquillo, 2012, p.7).

### **c. Variación de la viscosidad con la temperatura y la presión**

Existen numerosas ecuaciones para determinar la viscosidad en función de la temperatura y la presión; entre ellas está la ecuación de Barus.

$$\eta = \eta_0 * \exp \left[ AP - \frac{B}{T - T_0} \right]$$

En la expresión;  $\eta_0$  es la viscosidad aparente a una temperatura  $T_0$  y a presión atmosférica,  $T$  representa la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ ;  $A$  y  $B$  son constantes; para aceites lubricantes los valores son  $A = \frac{1}{430}$  y  $B = \frac{1}{36}$  Ramírez J. (citado en Llumiquinga Suquillo, 2012).

### **d. Variación de la viscosidad con la velocidad de corte**

En la mayor parte de fluidos no newtonianos, la viscosidad depende de la velocidad de corte; por tanto desde el punto de vista reológico, dicha variación es importante en la clasificación de los diferentes tipos de fluidos. (Llumiquinga Suquillo, 2012, p.7).

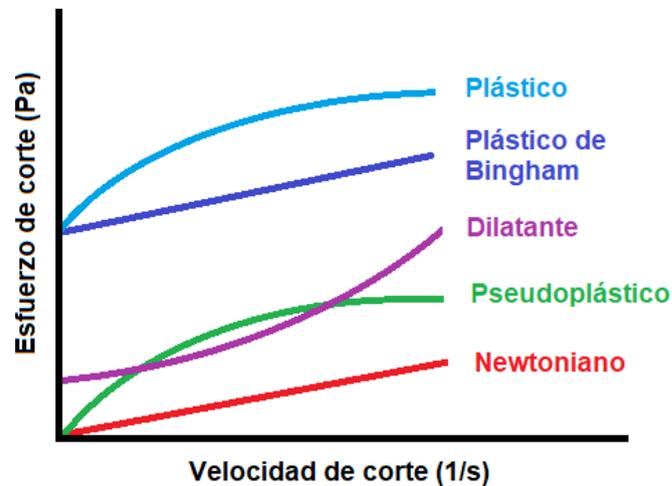
**Tabla 5***Rangos de velocidad de corte en diferentes aplicaciones*

SITUACIÓN	RANGO DE VELOCIDAD DE CORTE	EJEMPLOS DE APLICACION
Sedimentación	$10^{-6} - 10^{-3}$	Medicina, pinturas, Aderezos para ensaladas
Nivelación debido a la tensión superficial	$10^{-2} - 10^{-1}$	Pinturas, tintas
Drenar con gravedad	$10^{-1} - 10^1$	Desinfectantes, pinturas recubrimientos
Extrusión	$10^0 - 10^2$	Polímeros, Alimentos
Masticar y tragar	$10^1 - 10^2$	Alimentos
Recubrimiento por inmersión	$10^1 - 10^2$	Confiterías, pinturas
Mezclado y Agitado	$10^1 - 10^3$	Preparación de fluidos
Flujo en tuberías, transporte de fluidos por tuberías	$10^0 - 10^3$	Bombes de líquidos, flujo de sangre
Cepillar	$10^3 - 10^4$	Pinturas
Frotar	$10^4 - 10^5$	Crema para la piel, lociones
Recubrimiento de alta velocidad	$10^4 - 10^6$	Fabricación de papel
Pulverización	$10^5 - 10^6$	Atomización, secado por aspersión
Lubricación	$10^3 - 10^7$	Rodamientos, motores

Extraído de Gaspar A, 2011

### 2.2.14. Clasificación de fluidos

La función matemática de la viscosidad permite clasificar a los fluidos en tres grandes grupos: newtonianos, no newtonianos y viscoelásticos.



*Figura 12. Curvas de tipos de fluidos*  
Gaspar A., 2006

En general, los fluidos con propiedades reológicas independientes del tiempo, pueden representarse mediante el modelo genérico de Herschel Bulkley (Fernandez R.& Ibarra J., 2013, p.24):

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n$$

Donde:

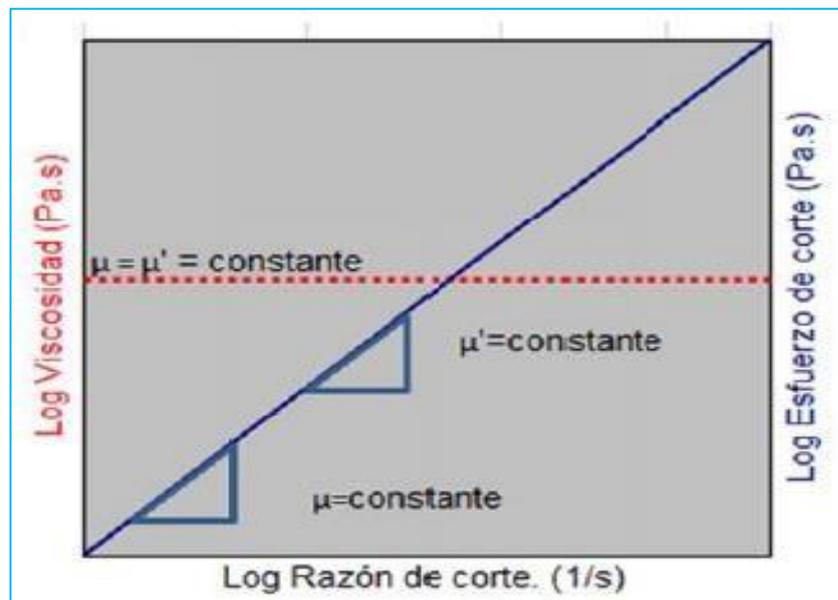
- $\tau_0$  : Esfuerzo de corte
- $\tau$  : Resistencia a la fluencia
- $K$  : Índice de consistencia de fluido del modelo genérico de Herschel Bulkley
- $n$  : Índice de comportamiento de fluido del modelo genérico de Herschel Bulkley

### a. Fluidos Newtonianos

La característica principal de estos fluidos, es que obedecen la ley de Newton, siendo la variación del esfuerzo cortante directamente proporcional a la velocidad de deformación. En este caso, el esfuerzo cortante aplicado no influye en la viscosidad ( $\mu$ ), siendo esta constante en todo momento. (De la cruz P. & Puchoc Ulloa, 2014).

El tiempo de aplicación del esfuerzo mecánico, no es un factor que altere la viscosidad en un fluido newtoniano, sin embargo la temperatura vendría a ser un factor muy importante así como la presión a la que se encuentre el fluido. Blasco A. (citado en Fernández A., 2009).

Los fluidos Newtonianos presentan a una curva de fluidez y viscosidad como se muestra a continuación:



**Figura 13.** Curva de fluidez y viscosidad de fluidos newtonianos  
Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

**Tabla 6**

*Viscosidades dinámicas de fluidos Newtonianos a temperaturas y presiones ambientales*

FLUIDOS	VISCOCIDAD APROXIMADA (mPa*s)
Vidrio	10 <sup>43</sup>
Vidrio Fundido	10 <sup>15</sup>
Betún	10 <sup>11</sup>
Bitumen	10 <sup>8</sup>
Polímeros Fundidos	10 <sup>5</sup>
Miel Liquida	10 <sup>4</sup>
Glicerol	10 <sup>3</sup>
Aceite de Oliva	10 <sup>2</sup>
Leche	10 <sup>1</sup>
Agua	10 <sup>0</sup>

Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

### **b. Fluidos no Newtonianos**

Los fluidos no newtonianos se caracterizan ya que, el esfuerzo de corte presenta una relación no lineal con respecto a la velocidad de deformación. De manera general estos fluidos se expresan matemáticamente como se indica en:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

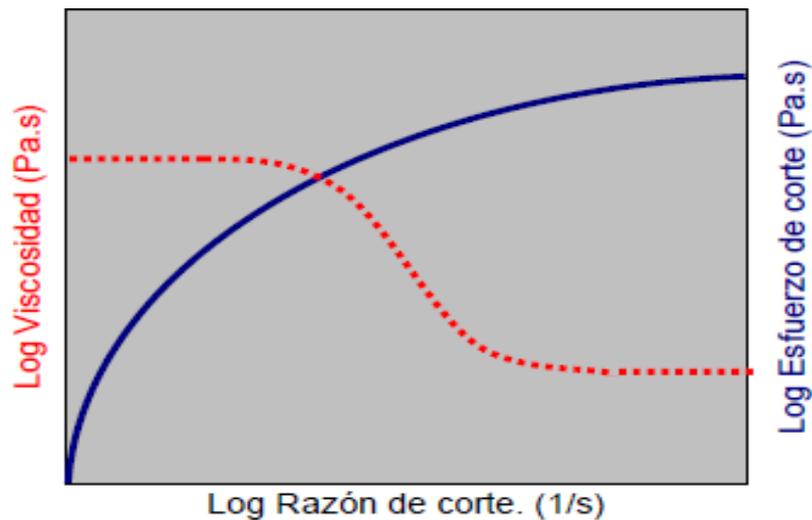
Estos fluidos a su vez se diferencian en dependientes e independientes del tiempo. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p.29).

- **Fluidos independientes del tiempo**

Se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no resistencia a la fluencia, esto significa, que para exista un desplazamiento del fluido, se debe generar un esfuerzo cortante mínimo. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p.29)

### i. Fluidos pseudoplásticos

El decrecimiento de la viscosidad, así como el esfuerzo de corte al incrementarse la razón de corte, es una característica principal de estos fluidos. (De la cruz Porta & Puchoc Ulloa, 2014, p. 57) tal como se presenta en la figura siguiente:

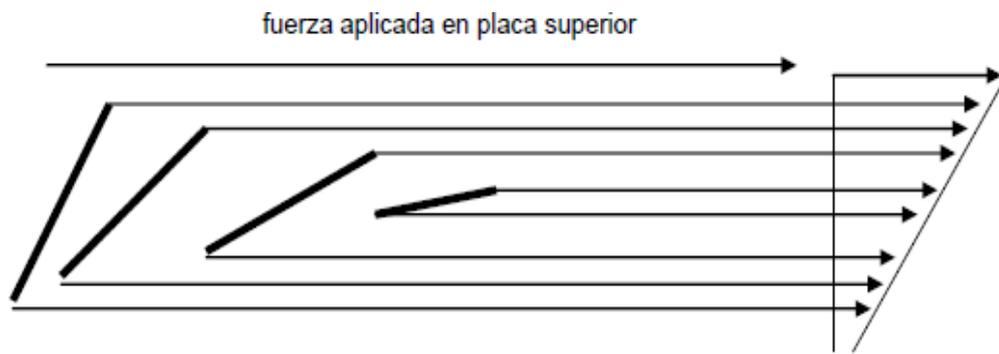


**Figura 14.** Curva de fluidez y viscosidad para fluidos pseudoplásticos  
Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

Este comportamiento es denominado “cizallamiento ante el corte” o “shear thinning”. Y se pueden dar dos explicaciones a este fenómeno:

#### ✓ Teoría del flujo de varillas rígidas suspendidas en un líquido Newtoniano

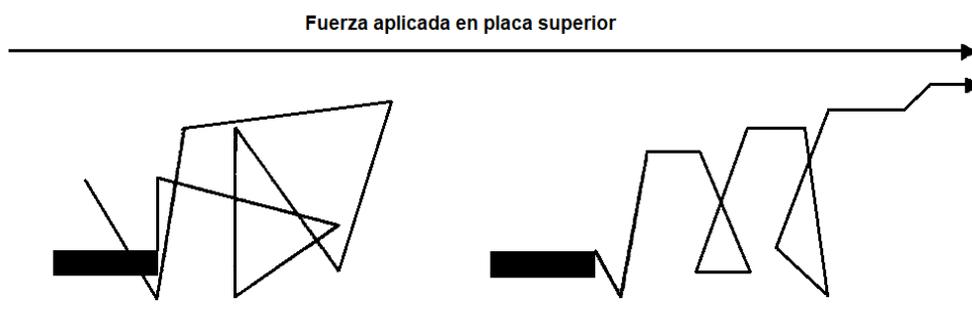
En esta teoría existen una serie de varillas desorientadas dentro del líquido newtoniano, las cuales se caracterizan por su movimiento browniano y tienen un vector de velocidad que tiende a adoptar una situación horizontal. Dicho movimiento browniano es una observación indirecta de la agitación térmica de las moléculas de un líquido, al visualizarse el desplazamiento de partículas en suspensión en el seno del mismo. La resultante de los choques al azar es una fuerza de magnitud y dirección variable a la orientación de las varillas - responsable de la viscosidad – que evita que se llegue a un cierto estado de equilibrio. Cuanto mayor sea la orientación de las varillas, menor será la viscosidad del fluido. (Fernández R. & Ibarra J, 2013,p.30).



**Figura 15.** Representación teórica del flujo de varillas rígidas suspendidas  
 Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

✓ **Teoría del flujo de moléculas filamentosas en un líquido Newtoniano**

Se supone que, dentro de un fluido newtoniano situado entre dos placas paralelas, una de las cuales se mueve, aparece una serie de macromoléculas en forma de fuerza aplicada en placa superior filamentosos porosos que contienen grupos de átomos con una gran movilidad. Al principio, estos grupos de átomos forman filamentos bastante enredados. Con el tiempo, al moverse la placa superior, la velocidad de deformación aumenta y la resultante de las fuerzas tiende a desenredar estos filamentos en la dirección del flujo, dependiendo de su elasticidad y de su velocidad de deformación, y además dicha fuerza libera parte del líquido que existe alrededor de la molécula. Como resultado de todo lo que ocurre en el seno del fluido se produce una disminución de la fricción interna dando lugar a su vez a una disminución de la viscosidad. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p. 31).



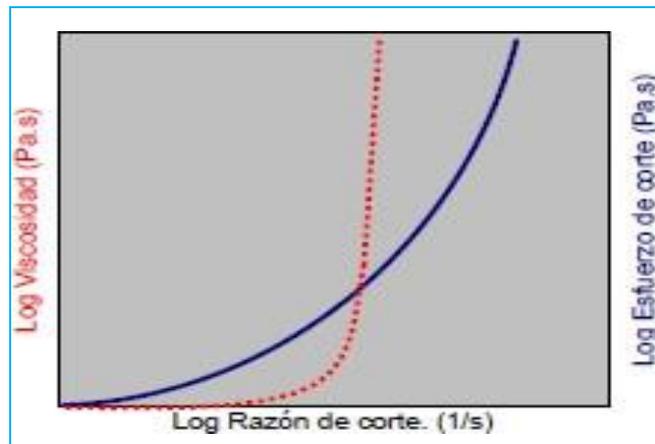
**Figura 16.** Representación teórica del flujo de moléculas filamentosas  
 Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

### a. Fluidos dilatantes

Definidos como suspensiones, en donde se generan un incremento de la viscosidad con respecto a la razón de corte.

El fenómeno de dilatancia, también llamado “shear thickening”, esto se genera por la dispersión de fase del fluido. El empaquetamiento de las partículas deja casi sin espacio a la fase constante presente en este fluido. Este empaquetamiento se ve alterado con la aplicación de un esfuerzo, aumentando así los agujeros entre partículas dispersas. También se evidencia la aparición de turbulencias con el aumento de la velocidad de deformación que se aplica, obteniéndose así un esfuerzo de corte mayor (aumento de viscosidad), debido a la dificultad de desplazamiento de la fase continua.

Fernández R. & Ibarra J., (citado en Tinoco Oscanoa, 2016).



**Figura 17.** Curva de fluidez y viscosidad para un fluido dilatante  
Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

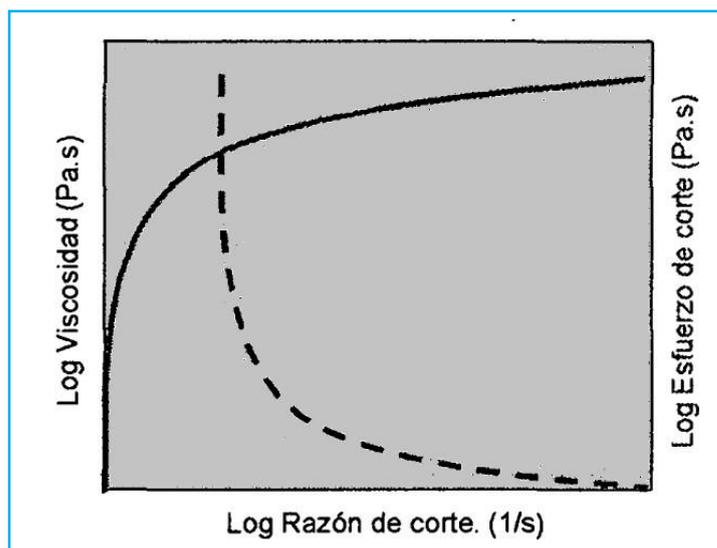
### b. Fluidos plásticos

Según los autores Rosas Chávez & Rodríguez Espada (2017, p. 19): “Este tipo de fluidos se comportan como un sólido hasta que sobrepasan un esfuerzo cortante mínimo (resistencia a la fluencia)”. Desde ese punto en adelante el comportamiento que adopta es el de un líquido. (Sobrado Gómez, 2018, p. 36)

El motivo de este comportamiento en los fluidos plásticos, es debido a la alta interacción de las partículas suspendidas en estos cuerpos, dando efecto a la solvatación, la cual se evidencia en forma de una capa. (Franco Matos & Sánchez Casas, 2017).

Estos fluidos se constituyen de 2 fases, las burbujas las que forman la fase constante, y los sólidos conforman la fase dispersa. En estos en estos cuerpos Las fuerzas de Van der Waals, así como los puentes de hidrogeno, generan una mutua atracción entre las partículas. (Rosas Chávez & Rodríguez Espada, 2017)

En este tipo de fluidos se forman coloides cuyas fuerzas repulsivas tienden a formar estructuras de tipo gel. Si las partículas son muy pequeñas poseen entonces una gran superficie específica, rodeados de una capa de adsorción formada por moléculas de fase continua. Gracias a esta capa, las partículas inmovilizan gran cantidad de fase continua hasta que no se aplican sobre ellas un esfuerzo cortante determinado. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p. 33-34).



**Figura 18.** Curva de fluidez y viscosidad para un fluido plástico  
Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

La diferencia de los fluidos plásticos, se evidencia con la relación del esfuerzo de corte y razón de corte, a partir de la resistencia a fluir. (Rosas C. & Rodríguez E., 2017) Si se determina una relación directa, entonces son denominados como plásticos de Bingham caso contrario son considerados como plásticos. (Franco Matos & Sánchez Casas, 2017).

El modelo de Bingham ha sido históricamente empleado para la predicción de los requerimientos de transporte en tubería asociado a tasas de corte entre 10 a 100 s<sup>-1</sup>, sin embargo para condiciones de inicio en tuberías,

mecanismos de rastra y agitadores, las tasas de corte son menores a las indicadas, y el modelo Bingham no tiene validez experimental. Sofra (citada en Fernández R. & Ibarra J., 2013, p.34).

- **Fluidos dependientes del tiempo**

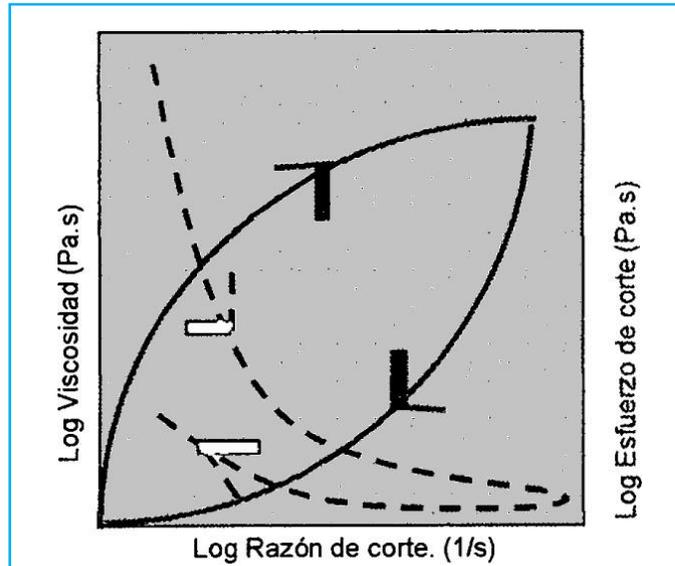
La clasificación de estos fluidos se dan de la siguiente manera: los fluidos que varían su viscosidad de manera negativa con el aumento del tiempo en la aplicación del esfuerzo de corte, luego de un determinado reposo vuelven a su estado inicial, a estos se les denominan fluidos tixotrópicos, y los fluidos que varían viscosidad positivamente con el tiempo de aplicación del esfuerzo de corte, volviendo a sus condiciones inicial luego de un determinado tiempo, a estos se les denomina fluidos reopécticos. (Tinoco Oscanoa, 2016).

- a. Fluidos tixotrópicos**

La característica principal de estos fluidos, es que al aplicarse el esfuerzo se genera una alteración de su estructura interna, generándose la rotura de las cadenas largas que conforman sus moléculas. (Quispe Arias, 2015)

Estos fluidos recuperan su estado inicial, luego de un determinado tiempo de reposo posterior a la aplicación del esfuerzo de corte. La aplicación de este cizallamiento, provoca la reducción de la viscosidad reconstruyendo su estructura con el cese de esta fuerza, acompañada del aumento de su viscosidad. (Quispe Arias, 2015). Aparece un fenómeno de Histéresis. Las razones de este comportamiento son diversas.

Si se considera al fluido como un sistema disperso, se debe tener en cuenta que las partículas que hay en él poseen diferentes potenciales eléctricos y tienden a formar tres estructuras variadas dependiendo de cómo sea la fase dispersa. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p. 35).



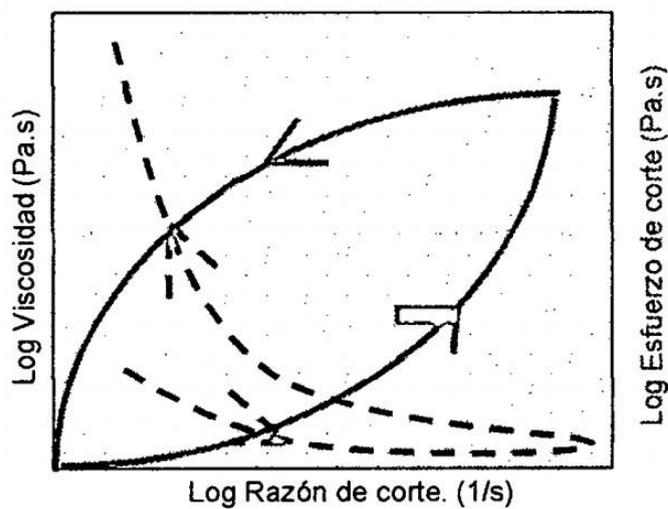
**Figura 19.** Curva de fluidez y viscosidad para un fluido tixotrópico  
 Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

Si la fase dispersa está formada por una serie de capas se denomina “Castillo de naipes”, si en cambio se compone de una serie de varillas se denomina “Armadura”, y si la fase dispersa está compuesta por formas esféricas se denomina “Estructura de perlas encadenadas”. Las fuerzas que actúan en estas estructuras son de tipo electrostático y se originan por el intercambio de iones dentro del fluido, el cual provoca atracciones y repulsiones entre ellos que dan lugar a cambios estructurales. (Fernández R. & Ibarra J., 2013, p. 35).

Estos cambios estructurales hacen que disminuya la viscosidad con el aumento de la velocidad de deformación y que ésta esté muy influenciada por el tiempo. La estructura puede volver a recuperar su forma inicial dejándola un tiempo en reposo. Para diferenciar de forma sencilla un fluido tixotrópico, se aumenta la velocidad de deformación hasta un determinado valor y luego se disminuye hasta el reposo, observando entonces un fenómeno de histéresis, que ayuda a comprender la variación de la viscosidad. Entre algunos ejemplos de estos fluidos tixotrópicos, podemos mencionar: salsa de tomate, algunos aceites de petróleo, tintas de impresión, pinturas, etc. (Tinoco Oscanoa, 2016).

### b. Fluidos reopéticos

Estos fluidos tienen la característica de comportarse de manera contraria a los fluidos tixotrópicos, pues su viscosidad varía positivamente con relación al tiempo y velocidad de deformación que se aplica a estos fluidos, presentándose una histéresis inversa. Este fenómeno se produce por la deformación de los enlaces intermoleculares provocado por la aplicación de la fuerza, generando a su vez el aumento de la viscosidad, por otro lado el cese de la fuerza aplicada reduce la viscosidad por la rotura de sus enlaces. (Tinoco Oscanoa, 2016).



**Figura 20.** Curva de fluidez y viscosidad para un fluido reopético  
Extraído de Itescam (citado en Fernández R. & Ibarra J., 2013)

### **23. Conceptual**

Los pegamentos para baldosas cerámicas son materiales que permiten un acabado más estético en las superficies de trabajo en el rubro de las edificaciones, tanto en interiores como en exteriores, estos materiales presentan características únicas que definen a cada tipo de pegamento, entre las condiciones básicas e importantes podemos mencionar la adherencia del material, el cual acompañado con la trabajabilidad y autosoportancia, definen un producto de calidad que cumple con los requisitos establecidos por la norma UNE EN 12004: Adhesivos para baldosas cerámicas.

De acuerdo a la norma europea EN 12004, existen 3 tipos de pegamentos, los cuales están clasificados de acuerdo a los componentes utilizados en su elaboración, entre los cuales tenemos: los de tipo cementoso, en dispersión y de resinas reactivas.

Con el fin de obtener el producto con las condiciones óptimas de adherencias, se manejará diferentes concentraciones de sal, usándose el gluconato de sodio como retenedor de agua en la mezcla, así como distintas dosificaciones de agua, modificando la adherencia del pegamento elaborado para poder determinar la mejor adherencia a través del ensayo de resistencia a la tracción usando como referencia la norma europea EN 12004, la cual define 4 tiempos de acondicionamiento del producto: 24 hrs, 7, 14 y 28 días. Previo a la realización de este ensayo es de suma importancia la elaboración de 6 placas de concreto acondicionadas con 28 días precios de elaboración, para la prueba de adherencia del producto, las características de estas placas se mencionan en el anexo A de la norma mencionada.

El comportamiento reológico del pegamento elaborado será definido a través sus reogramas, usando el viscosímetro rotacional J.P. Selecta modelo ST 2001 se determinará las viscosidades de los diferentes pegamentos, para así determinar la relación de la velocidad de deformación con respecto al esfuerzo de corte. Determinándose gráficamente el comportamiento reológico que mejor describe un pegamento para baldosas cerámicas.

## 24. Definición de términos básicos

- **Material cerámico:** Es aquel constituido por sólidos inorgánicos metálicos o no metálicos, fabricado por tratamiento térmico (Black & Kohser, 2012, P.226).
- **Baldosa:** Losa o loseta elaborada en distintos tipos, así como distintas técnicas cerámicas, como plástico, vidrio, caucho, en piedra, corcho, etc. (Materiales Continental: Todo para la construcción, 2019).
- **Adherencia:** Facultad de transmitir una fuerza originada por el adherente por medio de la unión adhesiva. (ANFAPA, 2008)
- **Aditivo:** Material orgánico o inorgánico que se añade en pequeñas cantidades para modificar las propiedades del mortero en fresco o endurecido. (EN 13318, EN 998).
- **Consistencia:** Fluidez del mortero fresco. La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. (Rodríguez O., 2003).
- **Trabajabilidad:** Tiempo suficiente que posee un mortero para ser utilizado sin adición posterior de agua con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento por el principio del fraguado. (Rodríguez O., 2003).
- **Tiempo de fraguado:** Tiempo a partir del cual el mortero se empieza a endurecer, a partir de ese momento el mortero es poco sostenible al agua (EN 1015 – 4).
- **Reología:** Estudio entre el esfuerzo y deformación de los distintos materiales que tienen la capacidad de fluir. (Franco Matos & Sánchez Casas, 2017).
- **Tracción:** Fuerza externa ejercida perpendicular al plano de adhesión.
- **Cizallamiento:** Fuerza externa ejercida de manera paralela al plano de adhesión.
- **Resistencia a la tracción:** Ensayo para poder determinar la adherencia de un mortero, determinada por la aplicación de una fuerza de tracción perpendicular a la superficie de adhesión. (Mogollón J., 2006).

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

Los parámetros reológicos óptimos de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones se dan bajo un esfuerzo cortante de 0 a 40 Pa.

##### **3.1.2. Hipótesis específica**

- a.** El modelo reológico que mejor describe el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones es el de modelo plástico de Bingham.
- b.** Las características fisicoquímicas que afectan de manera positiva a una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones son el tiempo de fraguado y la dosificación de agua.
- c.** El aumento de la dosificación de agua y sal para la preparación del pegamento para baldosa cerámica, mejora la consistencia y autosoportancia de la mezcla.

#### **3.2. Definición conceptual de variables**

##### **a. Variables cuantitativas**

- Dosificación de sal
- Dosificación de agua
- Tiempo de fraguado
- Modelo reológico

### 3.2.1. Operacionalización de Variables

Determinación de las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.

**Tabla 7**  
*Operacionalización de variables*

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Y= Modelo reológico del pegamento para baldosa cerámica	Esfuerzo cortante	Pa	Viscosímetro rotacional
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
X <sub>1</sub> = Concentración de sal en una mezcla para pegamento	Dosificación de sal en mezcla	g/Kg	Balanza digital
X <sub>2</sub> = Dosificación de agua asociado a la consistencia del producto	Porcentaje de agua en la mezcla	%	Balanza digital
X <sub>3</sub> = Tiempo de fraguado	Tiempo	Hrs, días	Calendario

Elaboración propia

## **IV. DISEÑO METODOLOGICO**

### **4.1. Tipo y diseño de la investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, cualitativo y cuantitativo porque nuestros estudios se realizarán mediante la observación, registro y análisis de las variables estudiadas y permitirá manipular las variables del proceso anteriormente mencionadas.

Consistirá en determinar las condiciones reológicas óptimas en la preparación de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones. Luego se optimizarán los parámetros como la dosificación de agua usada, la dosificación de sal para así lograr mejores resultados de adherencia del pegamento.

### **4.2. Método de investigación**

El trabajo realizado, tiene como método de investigación, un modelo comparativo, cuantitativo y cualitativo, ya que se realizará comparación de los resultados obtenidos, con respecto a la resistencia de tracción en cada muestra de pegamento con distintas dosificaciones de sal y agua añadida, con la ayuda de un dinamómetro probador de resistencia Proceq Z16E se determinará la muestra con las condiciones de resistencia óptima. A la misma vez se comparará de manera cualitativa la trabajabilidad y autosoportancia del producto, en las distintas dosificaciones mencionadas anteriormente. Se evaluará por medio del viscosímetro rotacional, las viscosidades de cada muestra de pegamento elaborado, para así determinar de manera matemática las velocidades de deformación y el esfuerzo de corte en cada escenario planteado, de esta manera podremos determinar el modelo reológico que mejor describe a un pegamento de mejores condiciones.

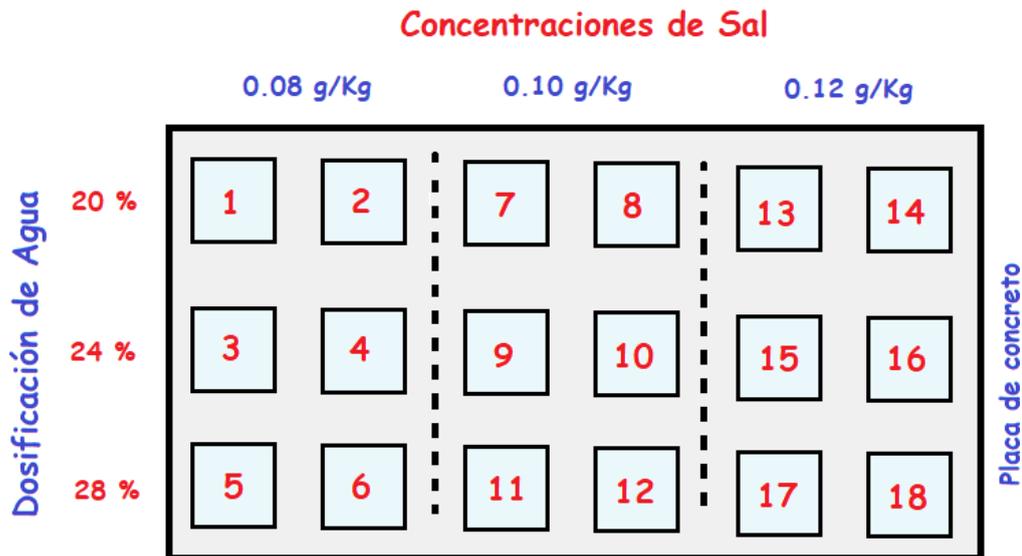
### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población estará determinada 96 muestras para la prueba de resistencia de tracción del pegamento como producto final, determinándose 4 dosificaciones de sal (Gluconato de Sodio) y 3 dosificaciones de agua, para un tiempo de 24 horas, 7 días, 14 días y 28 días, haciendo un total de 96 pruebas

en las que se evaluarán la resistencia de tracción por medio del dinamómetro probador de resistencia Proceq Z16E.

Por otro lado, la población para la determinación del modelo reológico, será determinando las viscosidades con viscosímetro rotacional J.P. SELECTA modelo ST 2001, estando formada por 4 dosificaciones de sal y 3 dosificaciones de agua, con un total de 8 muestras por evaluar.



**Figura 21.** Gráfica de distribución de muestras en la placa de concreto  
Elaboración propia

Para el desarrollo de este trabajo, se contó con unas placas de baldosas cerámicas de dimensiones de  $(50\pm 1)$  mm x  $(50\pm 1)$  mm, mencionado como requisito en el apartado 8.1.1.1. De la norma EN 12004 – 2 *Adhesivos para baldosas cerámicas, parte 2: Métodos de ensayo*.

#### 4.3.2. Muestra

Para poder determinar el tamaño de una muestra representativa, se basó en las normas ISO 15605 *Adhesivos: tomas de muestras* y EN 1067 *Adhesivos: Evaluación y preparación para las muestras de ensayo.*, las cuales sugieren elaborar una muestra de 2kg.

#### 4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) con respecto a la elaboración del pegamento, pegado de las baldosas y determinación del modelo reológico de la muestra de pegamento para cerámicos con mejores condiciones. La evaluación de la resistencia del adhesivo elaborado, por medio del dinamómetro probador de resistencia Proceq Z16E, se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Sika Perú.

#### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección e información

##### 4.5.1. Materia prima

Para el desarrollo de este trabajo, se hará la elaboración del pegamento a distintas dosificaciones de sal y agua, usándose los insumos siguientes:

- Arena fina
- Cemento blanco portland tipo I
- Éter de Celulosa
- Polvo Redispersable
- Aditivos adicionales



*Figura 22.* Pesaje de insumos para la elaboración del pegamento  
Elaboración propia

#### 4.5.2. Materiales

Para el desarrollo del trabajo se usaron los siguientes materiales:

- Frascos plásticos de 1L
- Espátulas
- Pesa de 2 Kg
- Llana dentada 6x6 mm
- Adhesivo epóxico Sikadur 31
- Placa metálica de 5x5cm (96 unid)
- Vaso precipitado
- Bolsa ziploc de 2Kg

#### 4.5.3. Placa de concreto

Para poder desarrollar el pegado de las muestras de baldosas cerámicas, se elaboró 06 placas de concreto de 50 x 40 cm, con un espesor aproximado de 60 mm, y un mínimo de secado de 28 días, requisito establecido por la norma EN 12004-2 *Adhesivos para baldosas cerámicas, parte 2: Métodos de ensayo*, en el anexo A (Espesor mínimo de 35mm).



**Figura 23.** Placas de concreto para el pegado de las baldosas  
Elaboración propia

#### 4.5.4. Equipos

##### a. Dinamómetro Proceq Z16E

Para el desarrollo de los ensayos de resistencia a la tracción en las muestras de pegamento, se utilizó un dinamómetro Proceq Z16E, el cual permitirá realizar la lectura de resistencia (en  $N/mm^2$ ), en cada baldosa adherida en la placa de concreto mencionado anteriormente.



*Figura 24.* Dinamómetro Proceq Z16E para la prueba de resistencia  
Elaboración propia



*Figura 25.* Dinamómetro Proceq Z16E acoplado a su panel digital.  
Elaboración propia

**b. Balanza digital**



**Figura 26.** Balanza gramera digital de 10 Kg de capacidad  
Elaboración propia



**Figura 27.** Balanza digital de 0.01 g de sensibilidad  
Elaboración propia

### c. Viscosímetro rotacional

Para la determinación del modelo reológico del pegamento para cerámico elaborado, se usara un viscosímetro rotacional de marca J.P. SELECTA modelo ST 2001, evaluando la viscosidad de cada muestra considerada potencialmente como optima, para posteriormente hallar el esfuerzo de corte y luego realizar las gráficas respectivas y las comparaciones de los modelos reológicos.



**Figura 28.** Viscosímetro rotacional J.P. Selecta modelo ST 2001.  
Elaboración propia

#### 4.5.5. Procedimiento de la prueba de tracción

a. Se preparó 2 kg de muestra de pegamento para cerámicos, tomando los siguientes parámetros:

- Concentración de sal: 0.08, 0.10, 0.12 y 0.14 g/Kg
- Dosificación de agua: 20, 24 y 28 %
- Tiempo acondicionamiento de la muestra: 24 hrs, 7, 14 y 28 días.



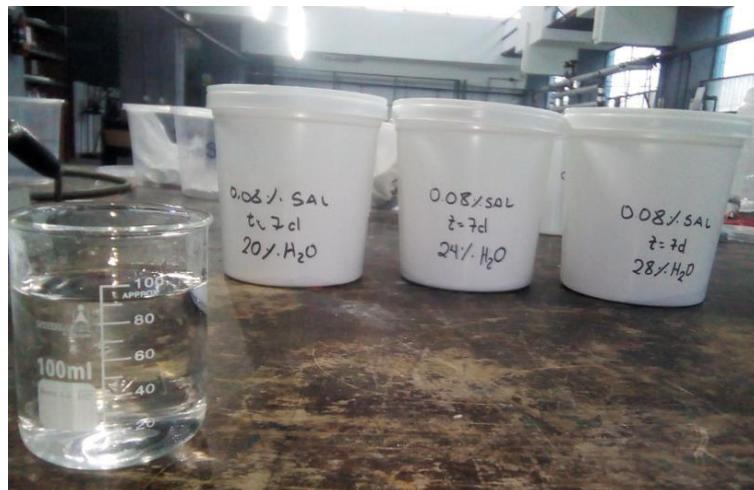
**Figura 29.** Pesaje de aditivos para la preparación del pegamento  
Elaboración propia



**Figura 30.** Mezcla de insumos a distintas concentraciones de sal.  
Elaboración propia

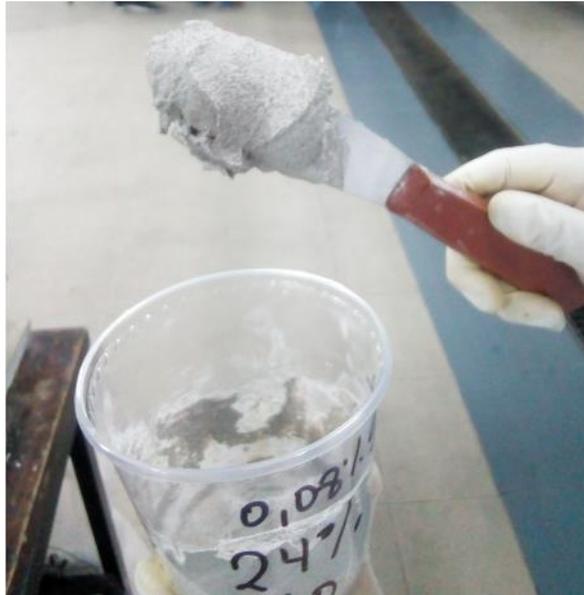


**Figura 31.** Agregado de agua a la mezcla de mortero seco  
Elaboración propia



**Figura 32.** Muestras de pegamento a distintas dosificaciones de agua.  
Elaboración propia

El resultado será una mezcla que variará su consistencia, así como su autosoportancia dependiendo de las concentraciones y dosificaciones de agua mezcladas.



**Figura 33.** Muestra pegamento preparada para 0.08 g/Kg  
Elaboración propia

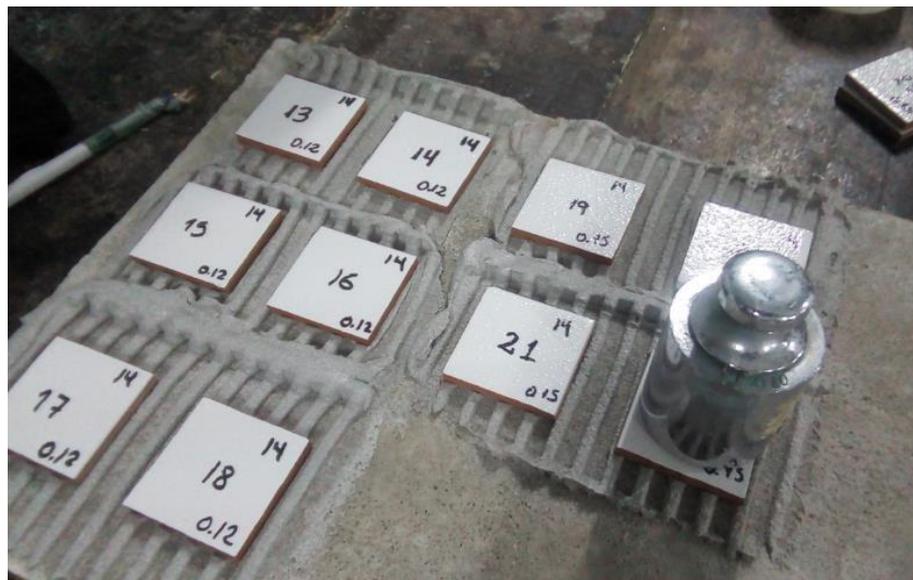
b. Con la ayuda de una espátula, plana colocamos la mezcla de pegamento para cerámico sobre la superficie de la placa de concreto, donde irán adheridas las baldosas, luego con una llana dentada con dientes de 6mm x 6mm distanciados 12 mm entre centros de dientes, se realizó el desplazamiento de la mezcla de pegamento en un ángulo de 60° sobre los bloques de concreto, y sobre las baldosas, se aplicó una carga de  $20 \pm 0.05$  N por 30 segundos (requisito de la norma 12004-2).



**Figura 34.** Untado de la muestra pegamento sobre la placa de concreto  
Elaboración propia



**Figura 35.** Formación de surcos en el adhesivo con la llana dentada.  
Elaboración propia



**Figura 36.** Uso de pesa de  $(20 + 0.05)$  N por un lapso de 30 seg.  
Elaboración propia



**Figura 37.** Muestras adheridas para la su lectura en 14 días.  
Elaboración propia

c. Para realizar la prueba de arranque o de tracción, se colocó sobre las baldosas cerámicas una placa metálica de dimensiones 50mm x 50mm, con la ayuda del adhesivo epóxico para luego realizar la lectura de las resistencias, con el dinamómetro Proceq Z16E.



**Figura 38.** Placa de metal adherido a las baldosas para pruebas de tracción.  
Elaboración propia



**Figura 39.** Lectura de la resistencia usando el dinamómetro Proceq Z16E.  
Elaboración propia

#### **4.5.6. Determinación del modelo reológico**

Para la determinación del modelo reológico, al igual que el procedimiento anterior se preparó 2 Kg de cada muestra de pegamento para cerámicos, tomándose una muestra de 0.5 Kg para la lectura de la viscosidad, tomando en cuenta los parámetros siguientes:

- Concentración de sal: 0.08, 0.10, 0.12 y 0.14 g/Kg
- Dosificación de agua: 24 y 28 %



**Figura 40.** Preparación de muestra de pegamento.  
Elaboración propia



**Figura 41.** Determinación de la viscosidad de cada muestra.  
Elaboración propia



**Figura 42.** Lectura de la viscosidad en la muestra de pegamento  
Elaboración propia

## V. RESULTADOS

### 5.1. Prueba de resistencia a la tracción

Esta prueba se realizó a temperatura ambiente, trabajándose a 4 tiempos de fraguado diferentes 24 horas, 7, 14 y 28 días, requisito mencionado en el capítulo 4 de la norma EN 12004 *Adhesivos para baldosas cerámicas, parte 2: Métodos de ensayo*, usándose 3 dosificaciones distintas de agua de 20%, 24% y 28% y 4 concentraciones de sal diferentes de 0.08, 0.10, 0.12, 0.14 g/Kg en peso del mortero seco en ambos casos. Haciéndose 48 corridas por duplicado para la determinación de la resistencia de tracción (total 96 corridas).

Haciendo uso de un adhesivo epóxico y placas metálicas con las dimensiones especificadas en la norma EN 12004, y adheridas previamente a las baldosas, se realizó la prueba de tracción a los distintos tiempos mencionados anteriormente:

*Tabla 8*

Resistencia de tracción tomada a distintas concentraciones de sal y porcentaje de agua

t(días)	C(g/kg)	%AGUA	RESIST. 1 (N/mm <sup>2</sup> )	RESIST 2 (N/mm <sup>2</sup> )	RESIST. PROM. (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.08	20	0.133	0.148	0.141
1	0.08	24	0.289	0.293	0.291
1	0.08	28	0.173	0.182	0.178
1	0.1	20	0.167	0.169	0.168
1	0.1	24	0.312	0.304	0.308
1	0.1	28	0.287	0.272	0.280
1	0.12	20	0.171	0.185	0.178
1	0.12	24	0.263	0.269	0.266
1	0.12	28	0.259	0.26	0.260
1	0.14	20	0.155	0.163	0.159
1	0.14	24	0.253	0.264	0.259
1	0.14	28	0.239	0.222	0.231
7	0.08	20	0.359	0.376	0.368
7	0.08	24	0.411	0.398	0.405
7	0.08	28	0.407	0.401	0.404
7	0.1	20	0.222	0.259	0.241
7	0.1	24	0.445	0.44	0.443

7	0.1	28	0.398	0.381	0.390
7	0.12	20	0.305	0.246	0.276
7	0.12	24	0.45	0.463	0.457
7	0.12	28	0.331	0.327	0.329
7	0.14	20	0.339	0.401	0.370
7	0.14	24	0.442	0.459	0.451
7	0.14	28	0.412	0.423	0.418
14	0.08	20	0.507	0.512	0.510
14	0.08	24	0.678	0.69	0.684
14	0.08	28	0.63	0.61	0.620
14	0.1	20	0.453	0.389	0.421
14	0.1	24	1.167	1.179	1.173
14	0.1	28	1.143	1.134	1.139
14	0.12	20	0.759	0.779	0.769
14	0.12	24	1.139	0.923	1.031
14	0.12	28	0.912	0.901	0.907
14	0.14	20	0.779	0.897	0.838
14	0.14	24	1.183	1.175	1.179
14	0.14	28	1.121	1.134	1.128
28	0.08	20	0.641	0.653	0.647
28	0.08	24	0.692	0.712	0.702
28	0.08	28	0.654	0.661	0.658
28	0.1	20	0.986	0.968	0.977
28	0.1	24	1.289	1.273	1.281
28	0.1	28	1.175	1.138	1.157
28	0.12	20	0.802	0.796	0.799
28	0.12	24	1.112	1.123	1.118
28	0.12	28	1.035	1.098	1.067
28	0.14	20	0.823	0.838	0.831
28	0.14	24	1.296	1.285	1.291
28	0.14	28	1.217	1.254	1.236

---

Elaboración propia

Realizándose las gráficas correspondientes a las distintas muestras de pegamento con las resistencias promedio, a diferentes concentraciones de sal y agua hallaremos el pegamento con las condiciones óptimas en resistencia.

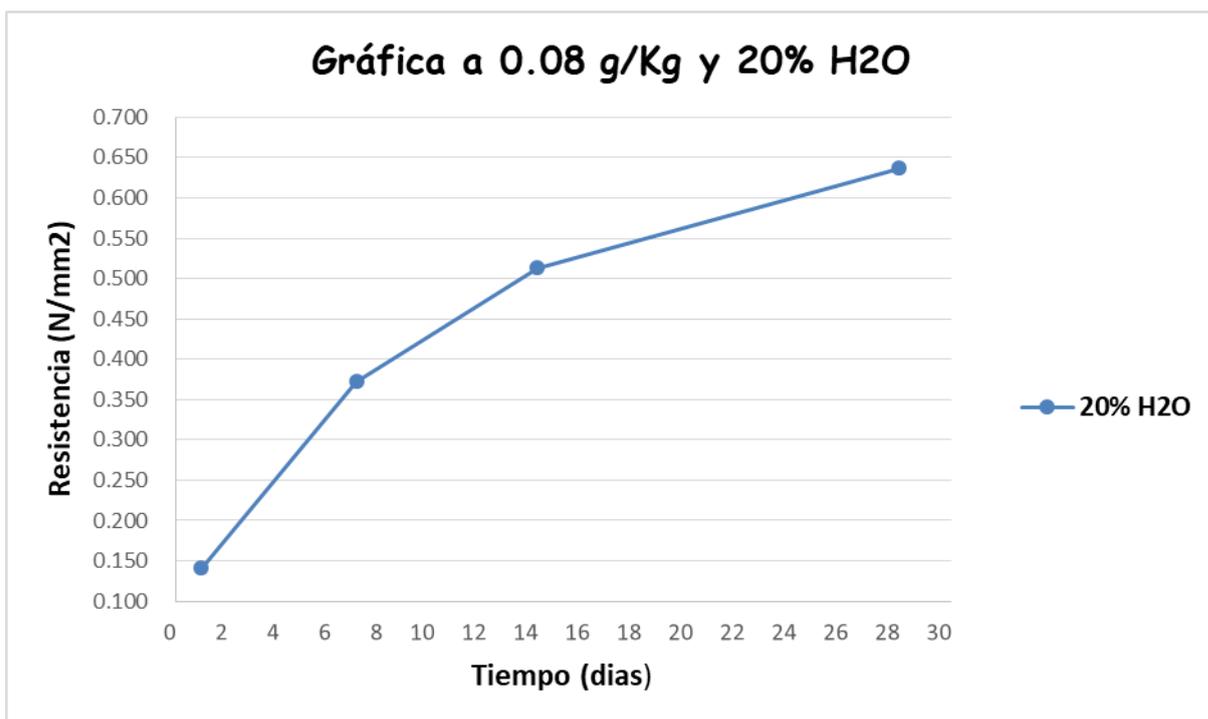
Para una dosificación de sal a 0.08 g/Kg tenemos los resultados siguientes:

**Tabla 9**

*Datos de resistencia a la tracción a 0.08 g/Kg de sal*

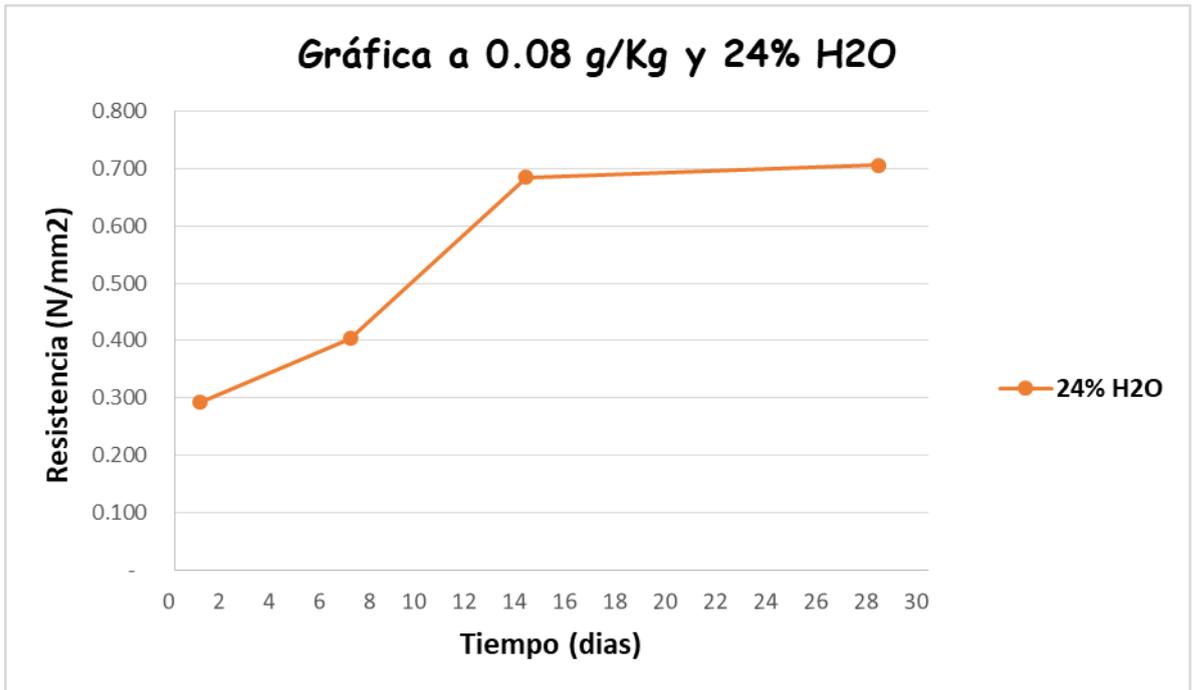
t(días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm <sup>2</sup> )		
	0.08 g/kg		
	20%	24%	28%
1	0.141	0.292	0.178
7	0.368	0.405	0.404
14	0.510	0.684	0.620
28	0.647	0.702	0.658

Elaboración propia

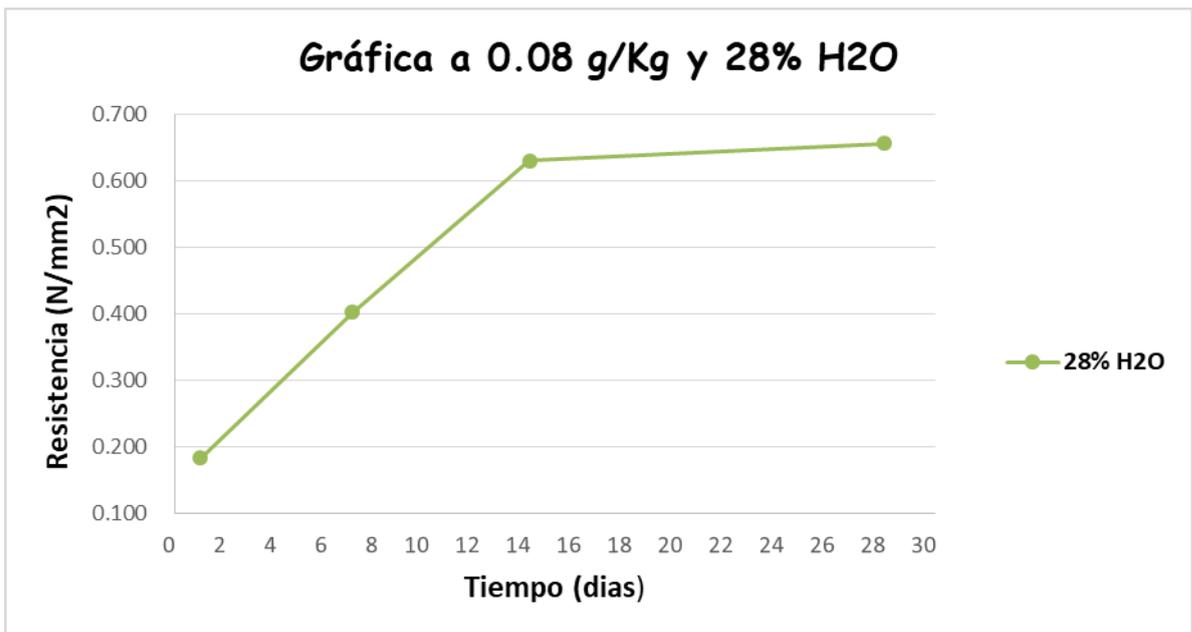


**Figura 43.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 20% H<sub>2</sub>O.

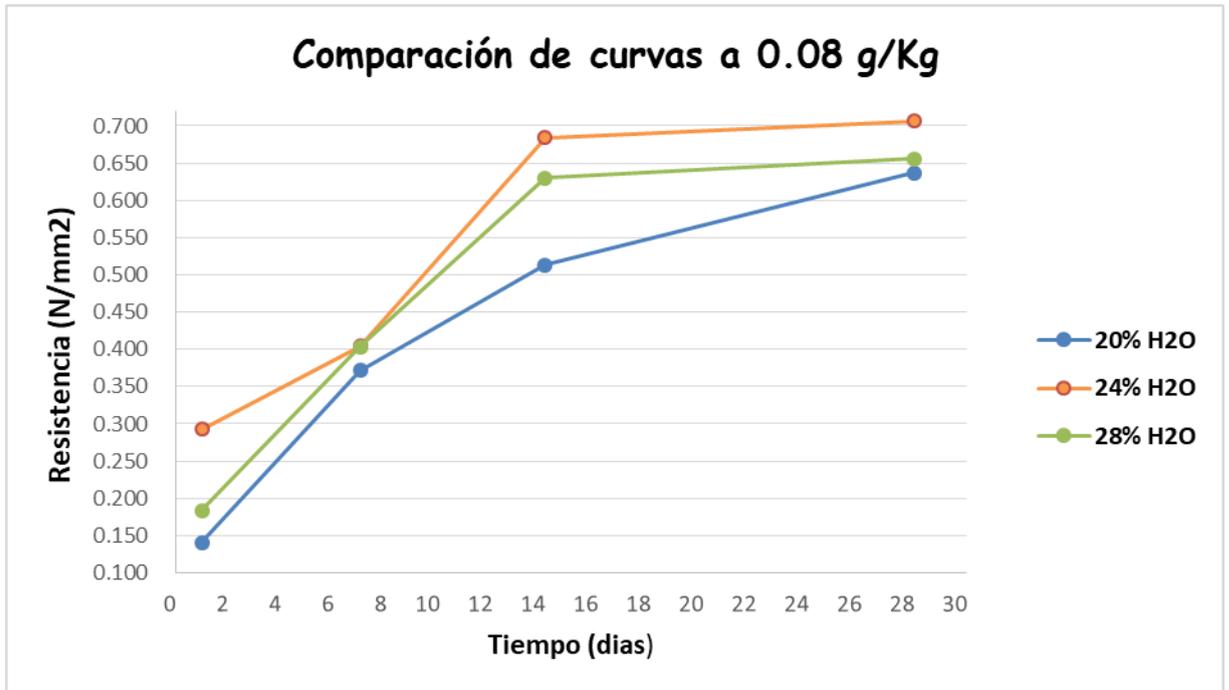
Elaboración propia



**Figura 44.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 24% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 45.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.08 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 46.** Comparación de curvas a 0.08 g/Kg de sal en la mezcla  
Elaboración propia

Para una dosificación de sal a 0.10 g/Kg tenemos los resultados siguientes:

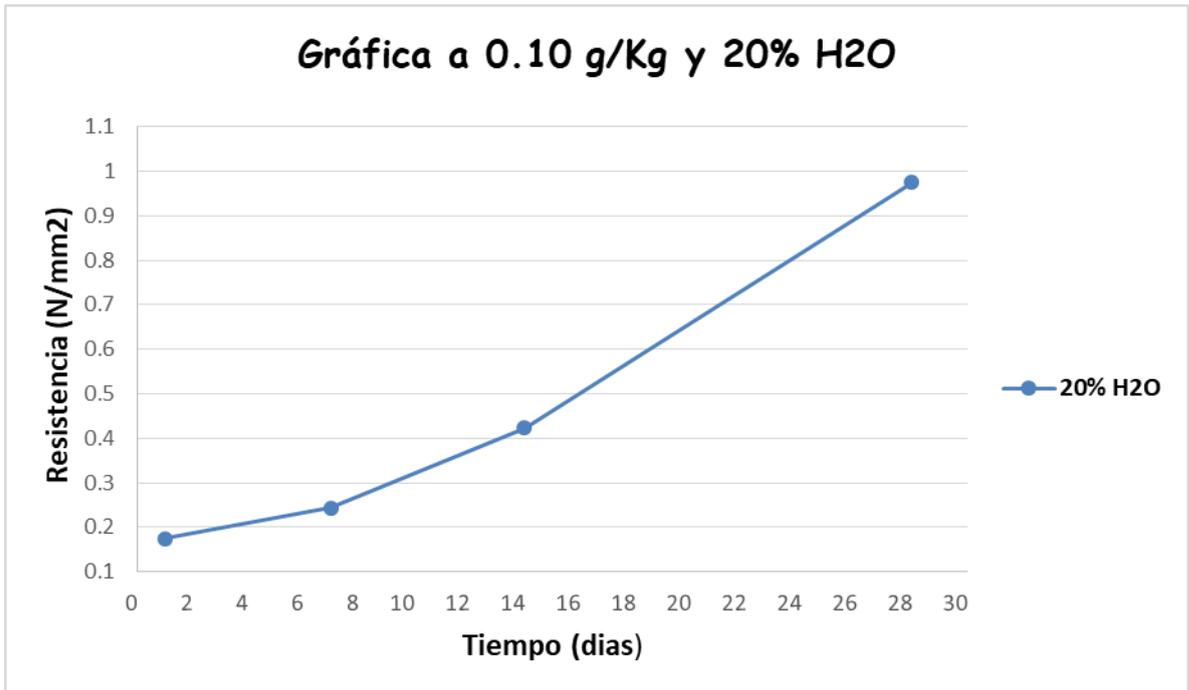
**Tabla 10**

*Datos de resistencia a la tracción a 0.10 g/Kg de sal*

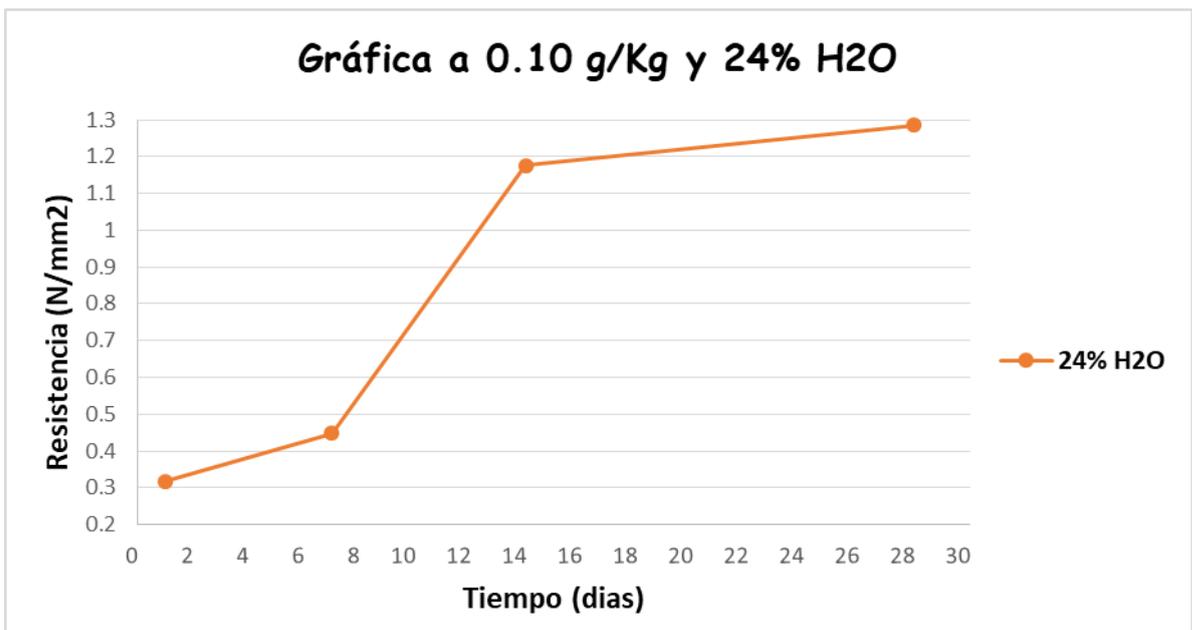
t(días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm <sup>2</sup> )		
	0.1 g/kg		
	20%	24%	28%
1	0.168	0.308	0.280
7	0.241	0.443	0.390
14	0.421	1.173	1.139
28	0.977	1.281	1.157

Elaboración propia

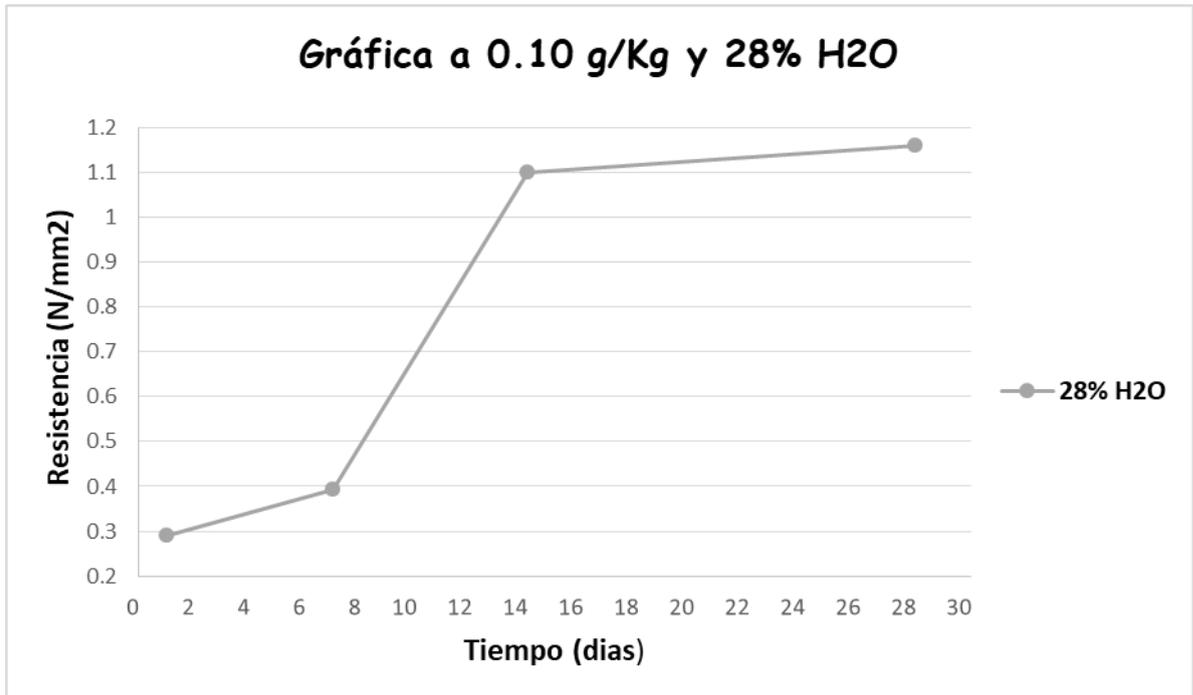
Realizamos las gráficas respectivas para las dosificaciones dadas:



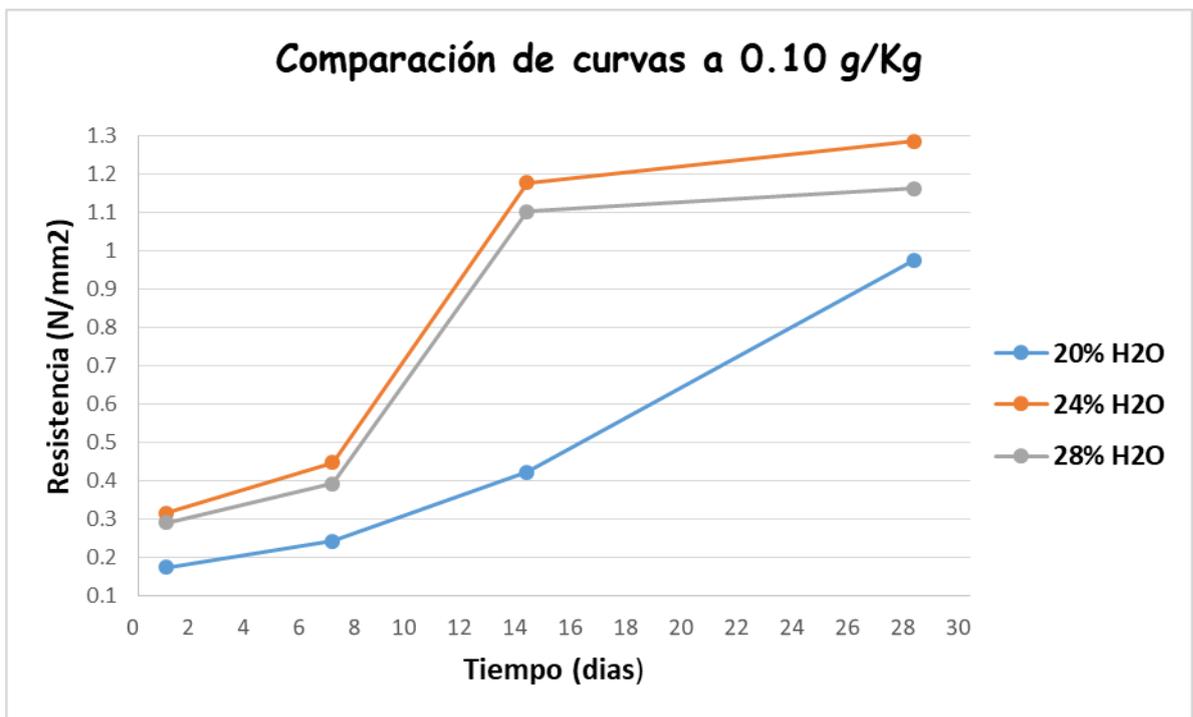
**Figura 47.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 20%H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 48.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 24%H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 49.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.10 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 50.** Comparación de curvas a 0.08 g/Kg de sal en la mezcla  
Elaboración propia

Para una dosificación de sal a 0.12 g/Kg tenemos los siguientes resultados:

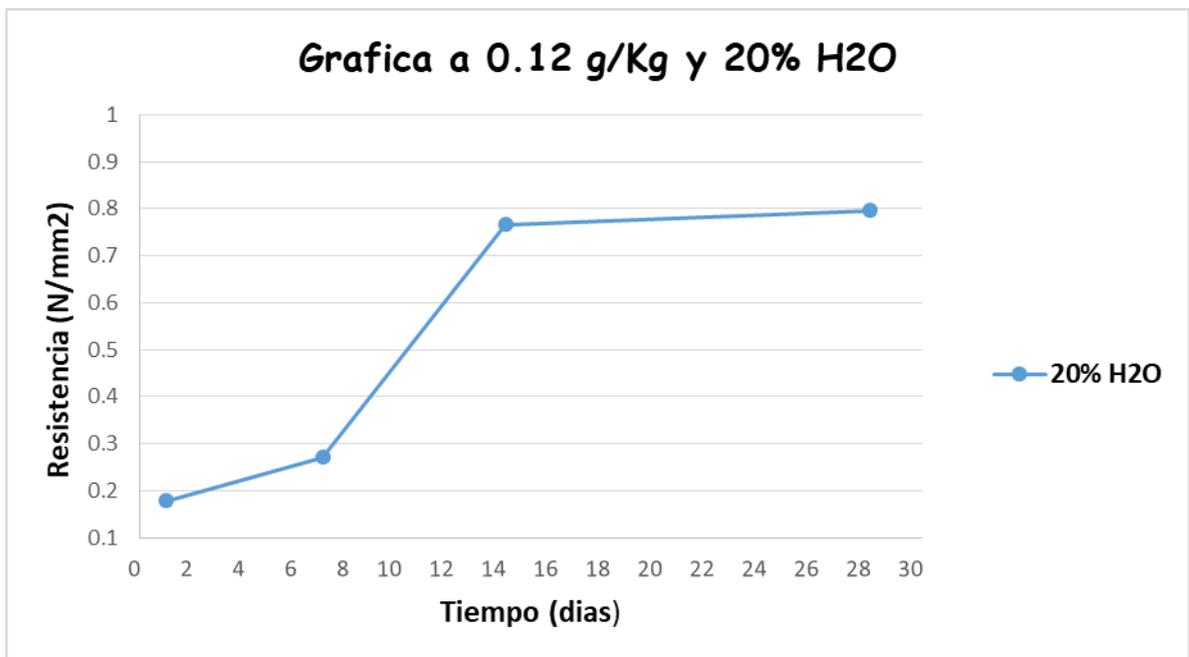
**Tabla 11**

*Datos de resistencia a la tracción a 0.12 g/Kg de sal*

t(días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm <sup>2</sup> )		
	0.12 g/kg		
	20%	24%	28%
1	0.178	0.266	0.260
7	0.276	0.457	0.329
14	0.769	1.031	0.907
28	0.799	1.118	1.067

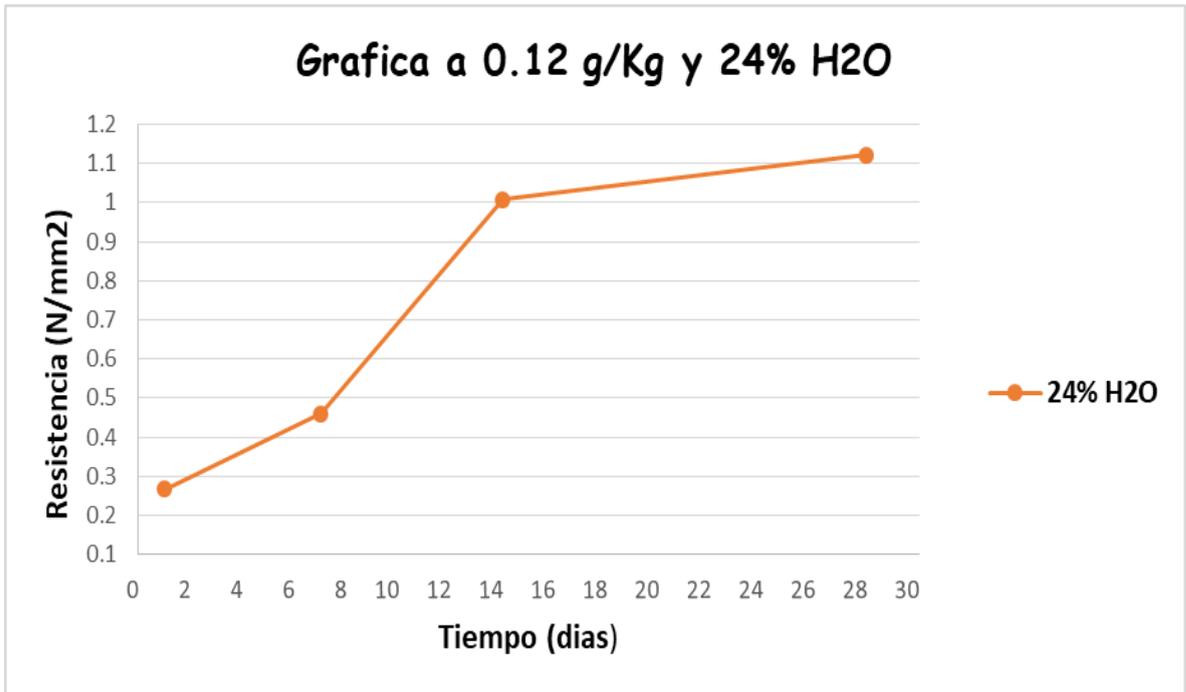
Elaboración propia

Grificándose los valores se tienen:

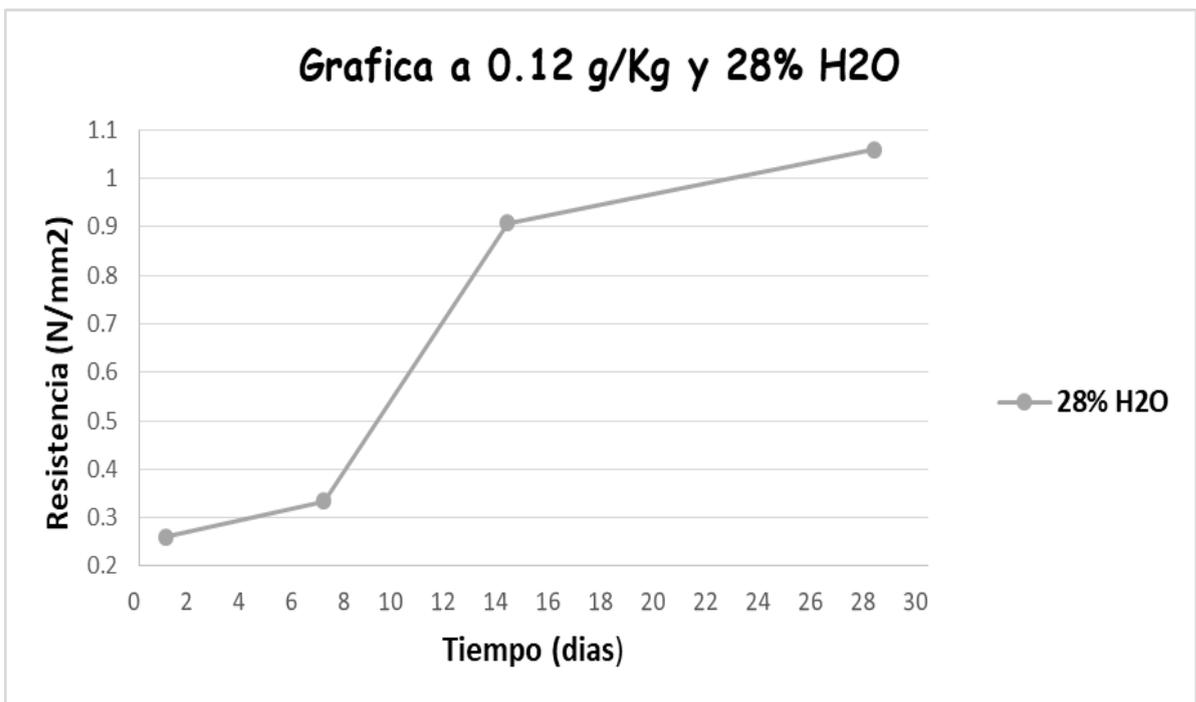


**Figura 51.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 20% H<sub>2</sub>O

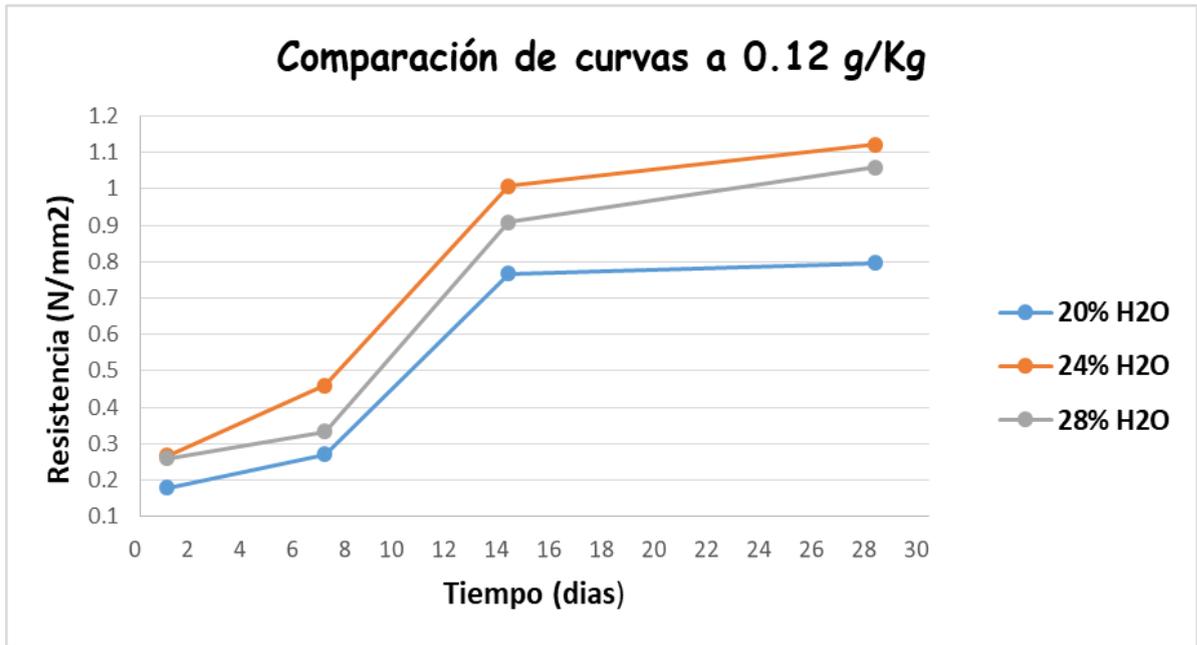
Elaboración propia



**Figura 52.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 24% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 53.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.12 g/Kg a 28% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



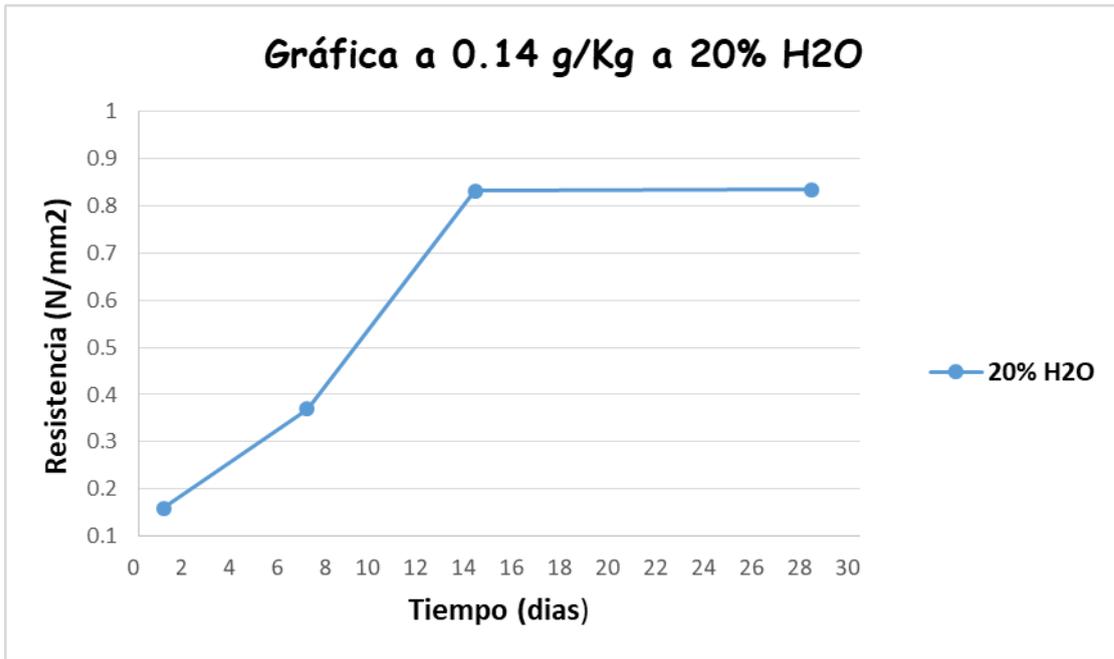
**Figura 54.** Comparación de curvas a 0.12 g/Kg de sal en la mezcla  
Elaboración propia

Para una dosificación de sal a 0.14 g/Kg tenemos los resultados siguientes:

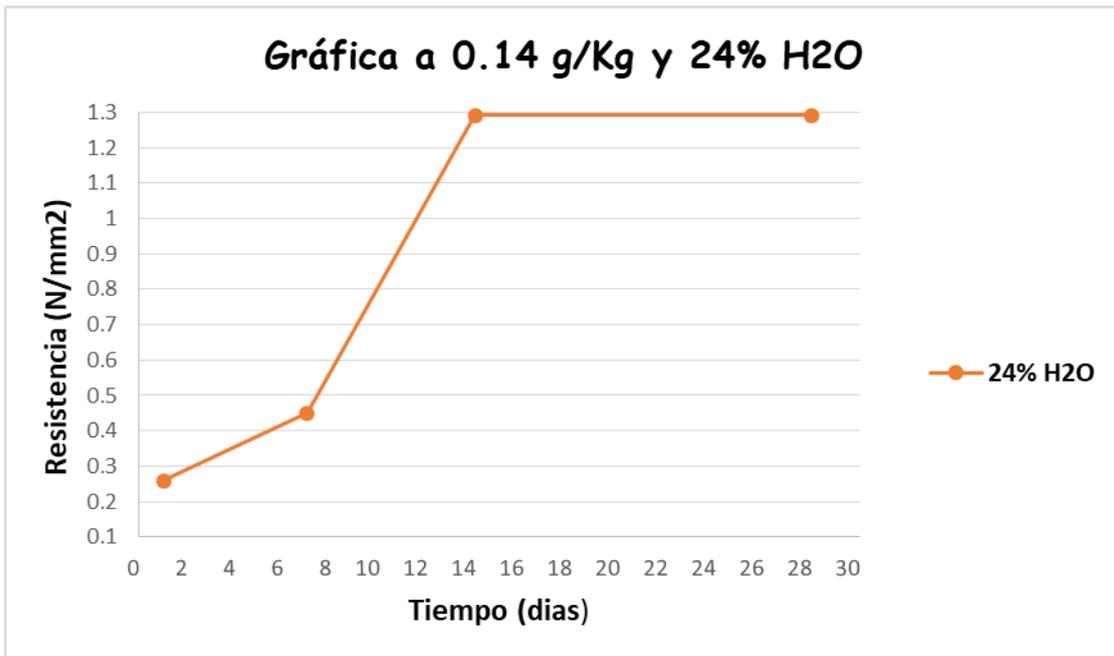
**Tabla 12**  
*Datos de resistencia a la tracción a 0.14 g/Kg de sal*

t(días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm <sup>2</sup> )		
	0.14 g/kg		
	20%	24%	28%
1	0.159	0.259	0.231
7	0.370	0.451	0.418
14	0.831	1.291	1.136
28	0.834	1.291	1.234

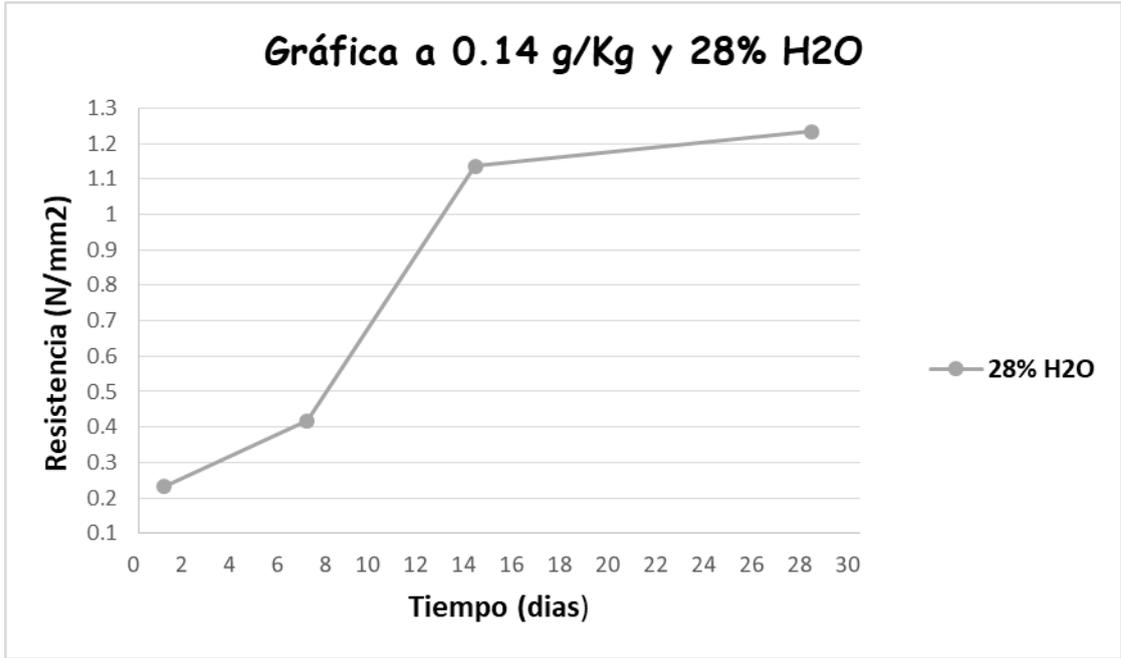
Elaboración propia



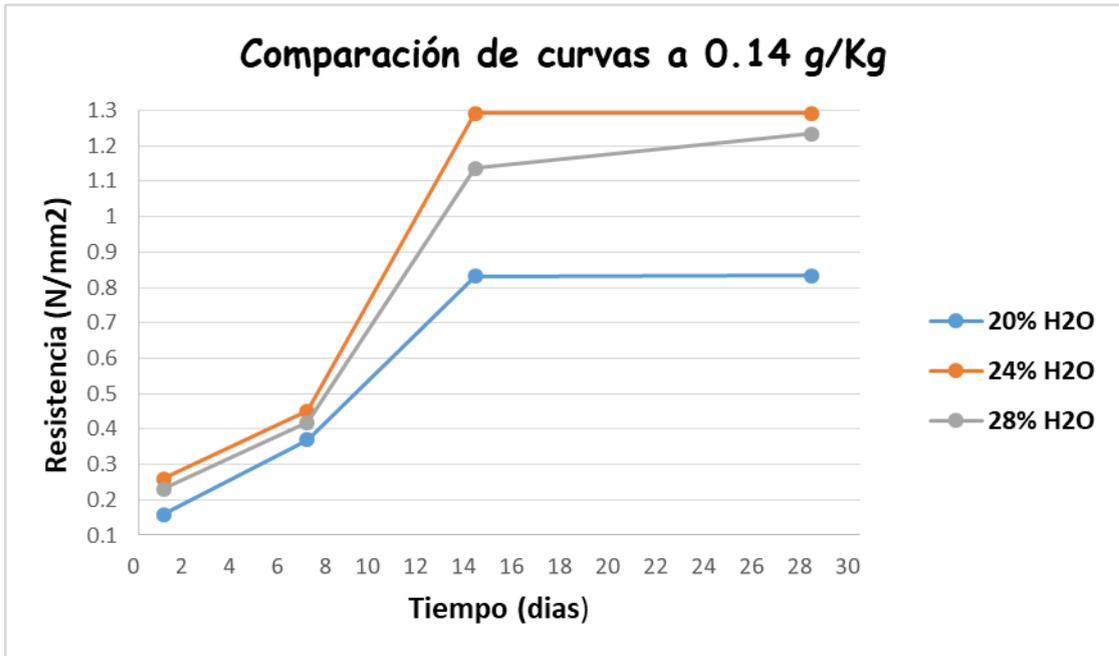
**Figura 55.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 20%H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 56.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 24%H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia

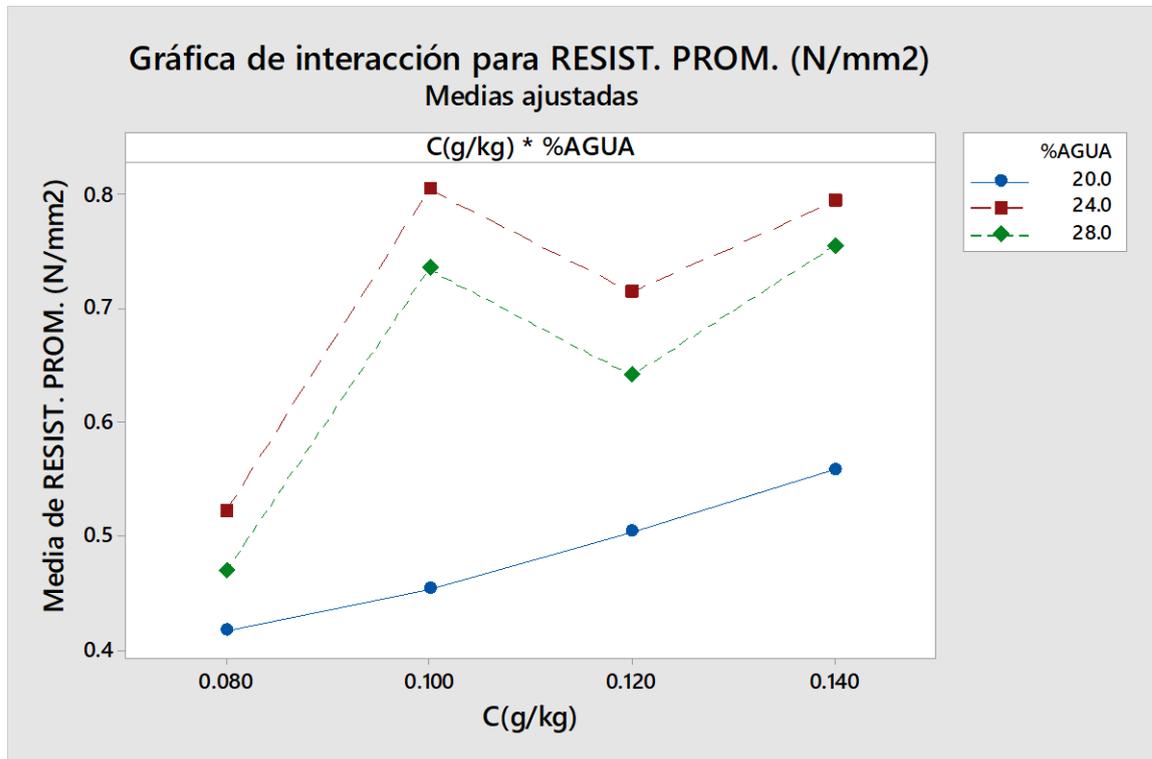


**Figura 57.** Gráfica tiempo vs resistencia de tracción a 0.14 g/Kg a 28% H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



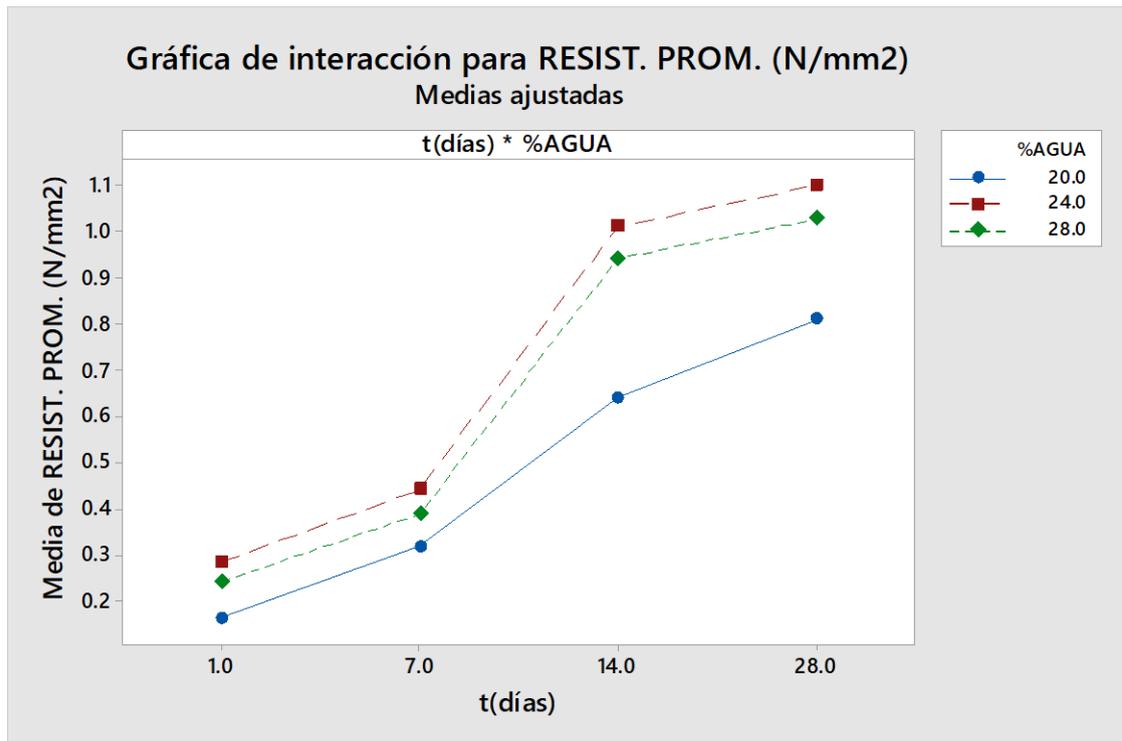
**Figura 58.** Comparación de curvas a 0.14 g/Kg de sal en la mezcla  
Elaboración propia

Analizando los datos obtenidos en los distintos escenarios para cada concentración de sal y dosificación de agua, con las medias en cada escenario, se determina las dosificaciones con las resistencias a la tracción óptimas.



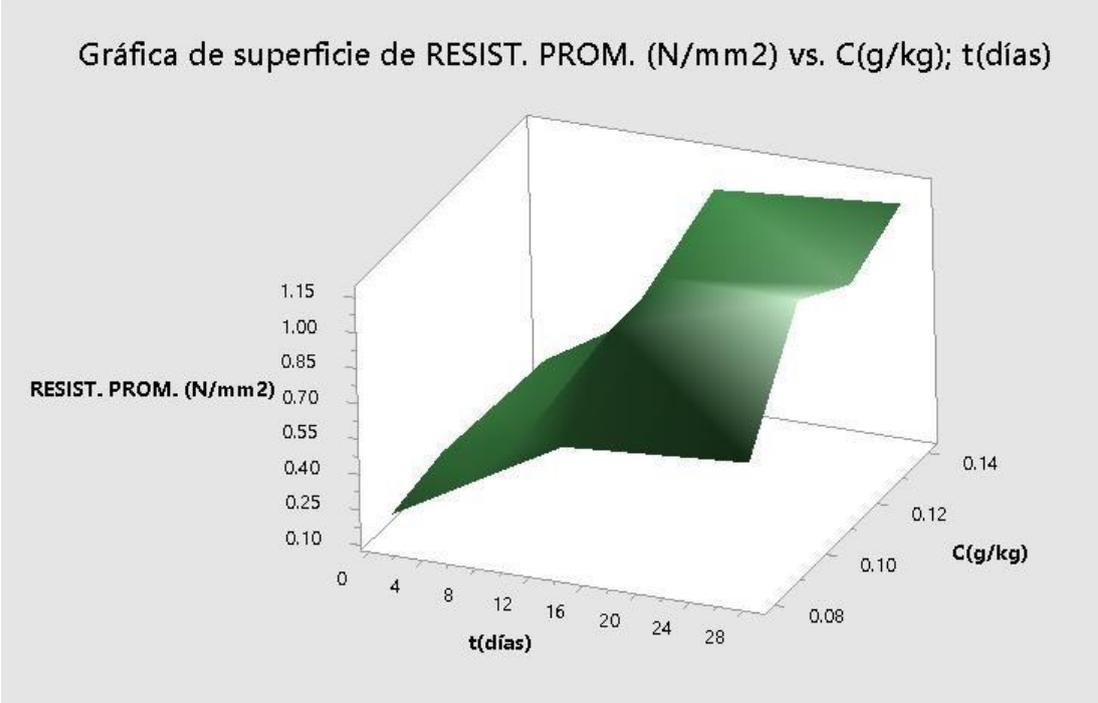
**Figura 59.** Comparación de curvas medias ajustadas en concentraciones.  
Elaboración propia

Determinándose que la resistencia óptima se halla en la mezcla de pegamento con la dosificación de sal a 0.10 g/Kg y 24% de agua, siendo la resistencia media optima de 0.801 N/mm<sup>2</sup>.

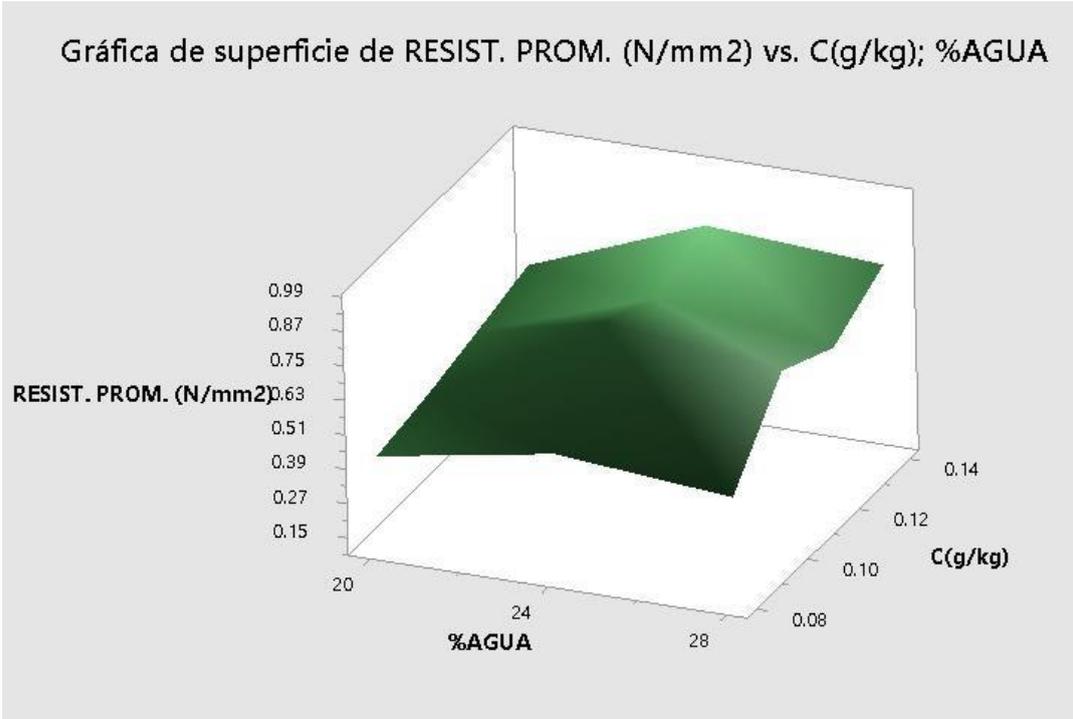


**Figura 60.** Comparación de curvas a medias ajustadas en días.  
Elaboración propia

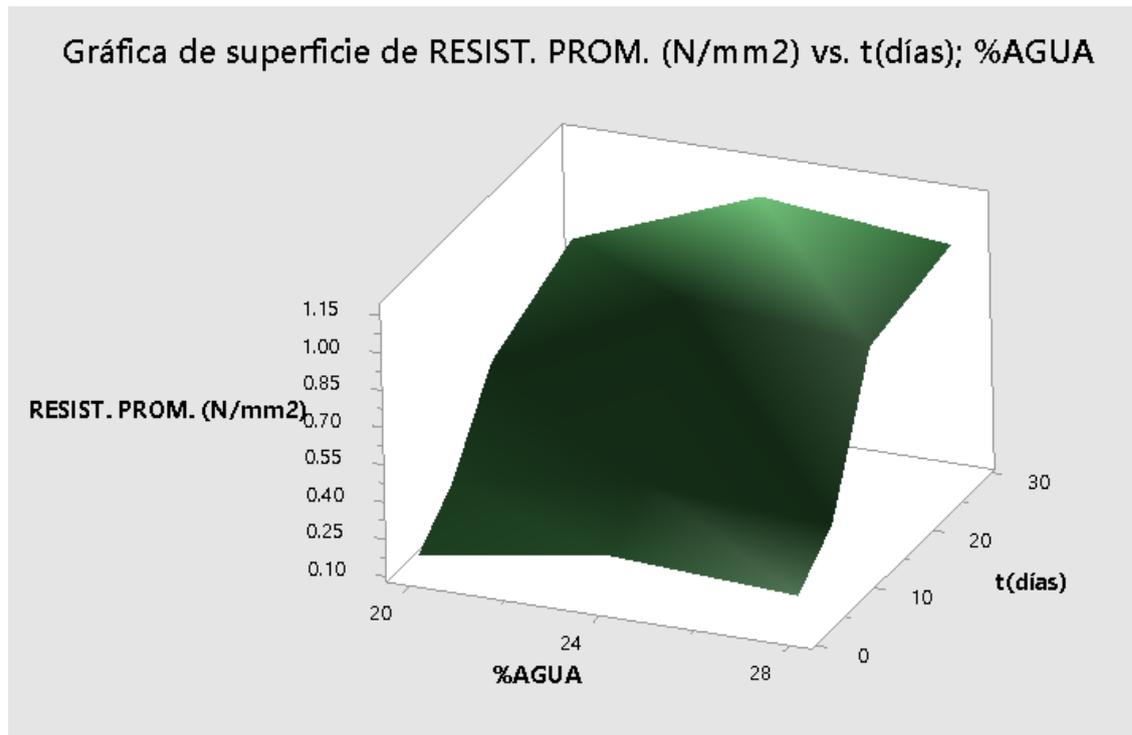
De la misma manera se realiza un gráfico de comparación de curvas de la variación de la resistencia con respecto al tiempo y dosificación de agua en la mezcla de pegamento para baldosas. Observándose que en los distintos tiempos establecidos, la dosificación de agua a 24% consigue una resistencia promedio por encima de las demás dosificaciones.



**Figura 61.** Gráfica de superficie resistencia (N/mm<sup>2</sup>) Vs C(g/Kg), t(días)  
Elaboración propia



**Figura 62.** Gráfica de superficie resistencia (N/mm<sup>2</sup>) Vs C(g/Kg), %H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia



**Figura 63.** Gráfica de superficie resistencia (N/mm<sup>2</sup>) vs t(días), %H<sub>2</sub>O  
Elaboración propia

## 52. Determinación del modelo reológico

La lectura se realizó a temperatura ambiente, para ello se usaron 2 dosificaciones distintas de agua 24% y 28% y 4 concentraciones de sal diferentes de 0.08, 0.10, 0.12, 0.14 g/Kg en peso del mortero seco en ambos casos. Realizándose un total de 8 lecturas de viscosidad con el viscosímetro rotacional.

En las comparaciones realizadas de los datos de resistencia obtenidas, se determina el descarte de la dosificación de agua al 20%, ya que este no proporciona una consistencia adecuada del producto, ni una adherencia óptima del producto para su aplicación.

Se determinó las viscosidades de cada muestra de pegamento:

Para una concentración de 0.08 g/Kg

**Tabla 13**  
*Datos reológicos del adhesivo a 0.08 g/Kg y 24% H<sub>2</sub>O*

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	37530	1.667	62550	62.55
60.0	55098	1.000	55098	55.10
50.0	62241	0.833	51867	51.87
30.0	89402	0.500	44701	44.70
20.0	120351	0.333	40117	40.12
12.0	188827	0.200	37765	37.77
10.0	185573	0.167	30928	30.93
6.0	257537	0.100	25753	25.75
5.0	289348	0.083	24112	24.11
4.0	338557	0.067	22570	22.57
3.0	413173	0.050	20658	20.66
2.5	466166	0.042	19423	19.42
2.0	530714	0.033	17690	17.69
1.5	656701	0.025	16417	16.42

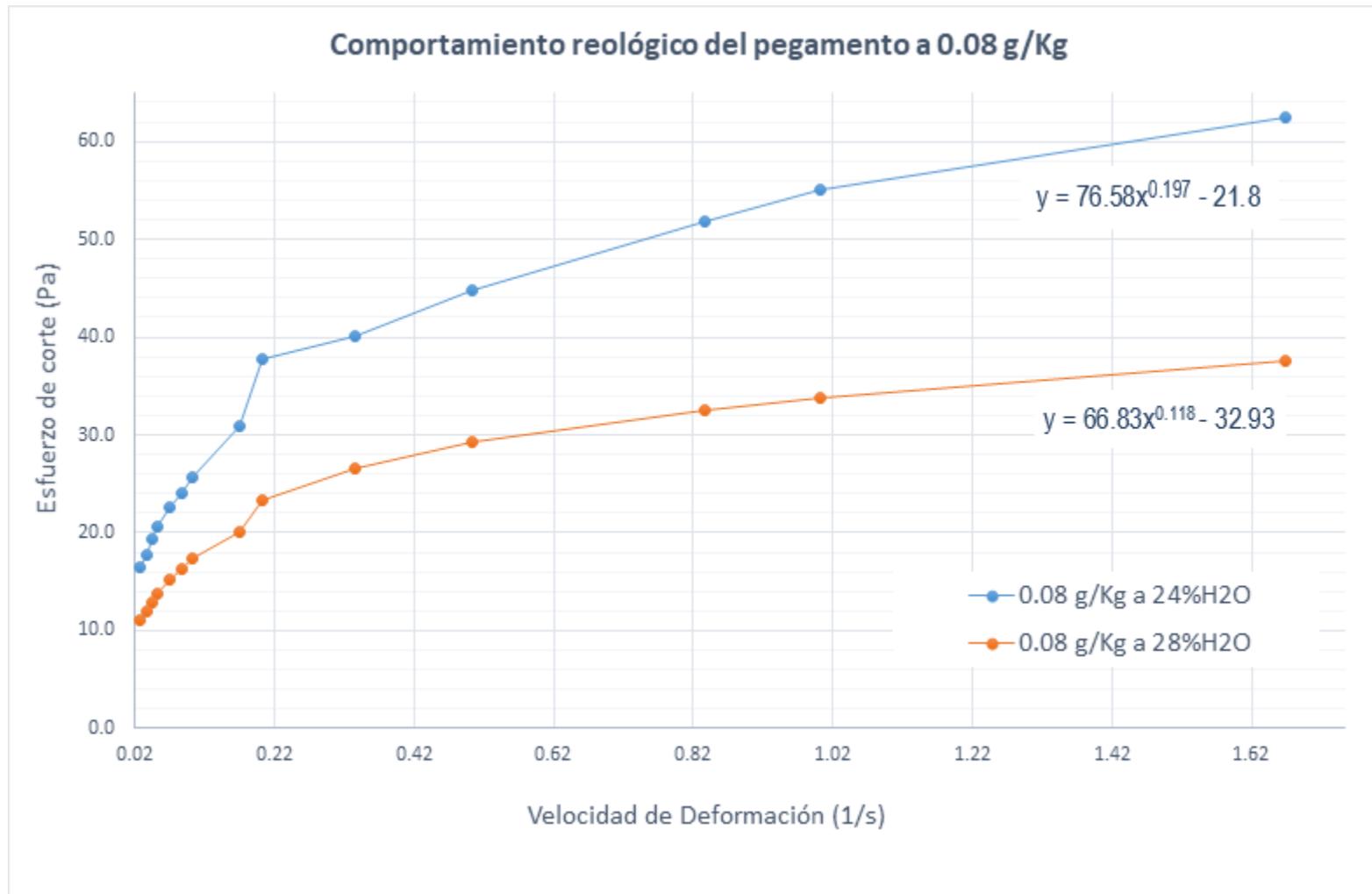
Elaboración propia

**Tabla 14***Datos reológicos del adhesivo a 0.08 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O*

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP.s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	22597	1.667	37661.67	37.66
60.0	33756	1.000	33756.00	33.76
50.0	39006	0.833	32505.00	32.51
30.0	58579	0.500	29289.50	29.29
20.0	79568	0.333	26522.67	26.52
12.0	116846	0.200	23369.20	23.37
10.0	120960	0.167	20160.00	20.16
6.0	174167	0.100	17416.70	17.42
5.0	195738	0.083	16311.50	16.31
4.0	228125	0.067	15208.33	15.21
3.0	276000	0.050	13800.00	13.80
2.5	307450	0.042	12810.42	12.81
2.0	360520	0.033	12017.33	12.02
1.5	443392	0.025	11084.80	11.08

Elaboración propia

Graficando la variación del esfuerzo de corte con respecto a la velocidad de deformación, obtenemos el reograma de la muestra evaluada a 0.08 g/Kg, posteriormente comparamos los reogramas a diferentes dosificaciones de agua añadida en la mezcla.



**Figura 64.** Comportamiento reológico del adhesivo a 0.08g/Kg  
Elaboración propia

Para una concentración de 0.10 g/Kg

**Tabla 15**

*Datos reológicos del adhesivo a 0.10 g/Kg y 24% H<sub>2</sub>O*

---

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	36723	1.667	61205	61.21
60.0	50551	1.000	50551	50.55
50.0	56902	0.833	47418	47.42
30.0	84289	0.500	42144	42.14
20.0	116509	0.333	38836	38.84
12.0	184411	0.200	36882	36.88
10.0	229459	0.167	38243	38.24
6.0	356535	0.100	35653	35.65
5.0	393993	0.083	32833	32.83
4.0	461322	0.067	30755	30.75
3.0	556863	0.050	27843	27.84
2.5	636947	0.042	26540	26.54
2.0	708876	0.033	23629	23.63
1.5	871897	0.025	21798	21.80

---

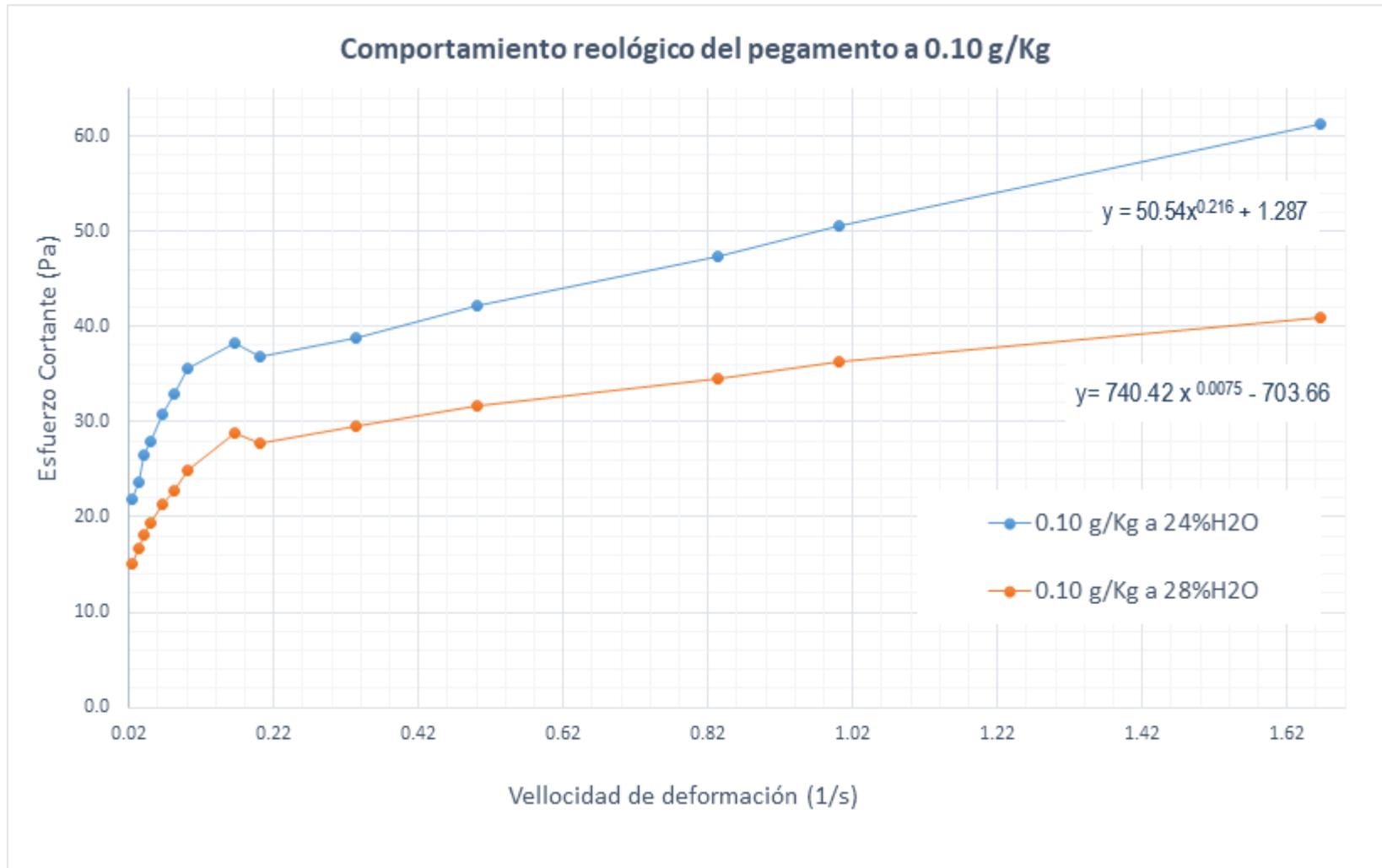
Elaboración propia

**Tabla 16***Datos reológicos del adhesivo a 0.10 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O*

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	24603.0	1.667	41005	41.0
60.0	36382.0	1.000	36382	36.4
50.0	41507.0	0.833	34589	34.6
30.0	63344.0	0.500	31672	31.7
20.0	88502.0	0.333	29501	29.5
12.0	138629.0	0.200	27726	27.7
10.0	173216.0	0.167	28869	28.9
6.0	249006.0	0.100	24901	24.9
5.0	273692.0	0.083	22808	22.8
4.0	320458.0	0.067	21364	21.4
3.0	388766.0	0.050	19438	19.4
2.5	434652.0	0.042	18111	18.1
2.0	500443.0	0.033	16681	16.7
1.5	602535.0	0.025	15063	15.1

Elaboración propia

De la misma manera que el caso anterior, obtenemos el reograma de la muestra evaluada a 0.10 g/Kg, posteriormente comparamos los reogramas a diferentes dosificaciones de agua añadida en la mezcla.



**Figura 65.** Comportamiento reológico del adhesivo a 0.10g/Kg  
Elaboración propia

Para una concentración de 0.12 g/Kg

**Tabla 17**

*Datos reológicos del adhesivo a 0.12 g/Kg y 24% H<sub>2</sub>O*

---

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	37529.0	1.667	62548	62.5
60.0	53752.0	1.000	53752	53.8
50.0	61884.0	0.833	51570	51.6
30.0	96472.0	0.500	48236	48.2
20.0	142496.0	0.333	47499	47.5
12.0	232910.0	0.200	46582	46.6
10.0	284235.0	0.167	47373	47.4
6.0	420198.0	0.100	42020	42.0
5.0	474727.0	0.083	39561	39.6
4.0	561598.0	0.067	37440	37.4
3.0	698251.0	0.050	34913	34.9
2.5	793695.0	0.042	33071	33.1
2.0	930797.0	0.033	31027	31.0
1.5	1170321.0	0.025	29258	29.3

---

Elaboración propia

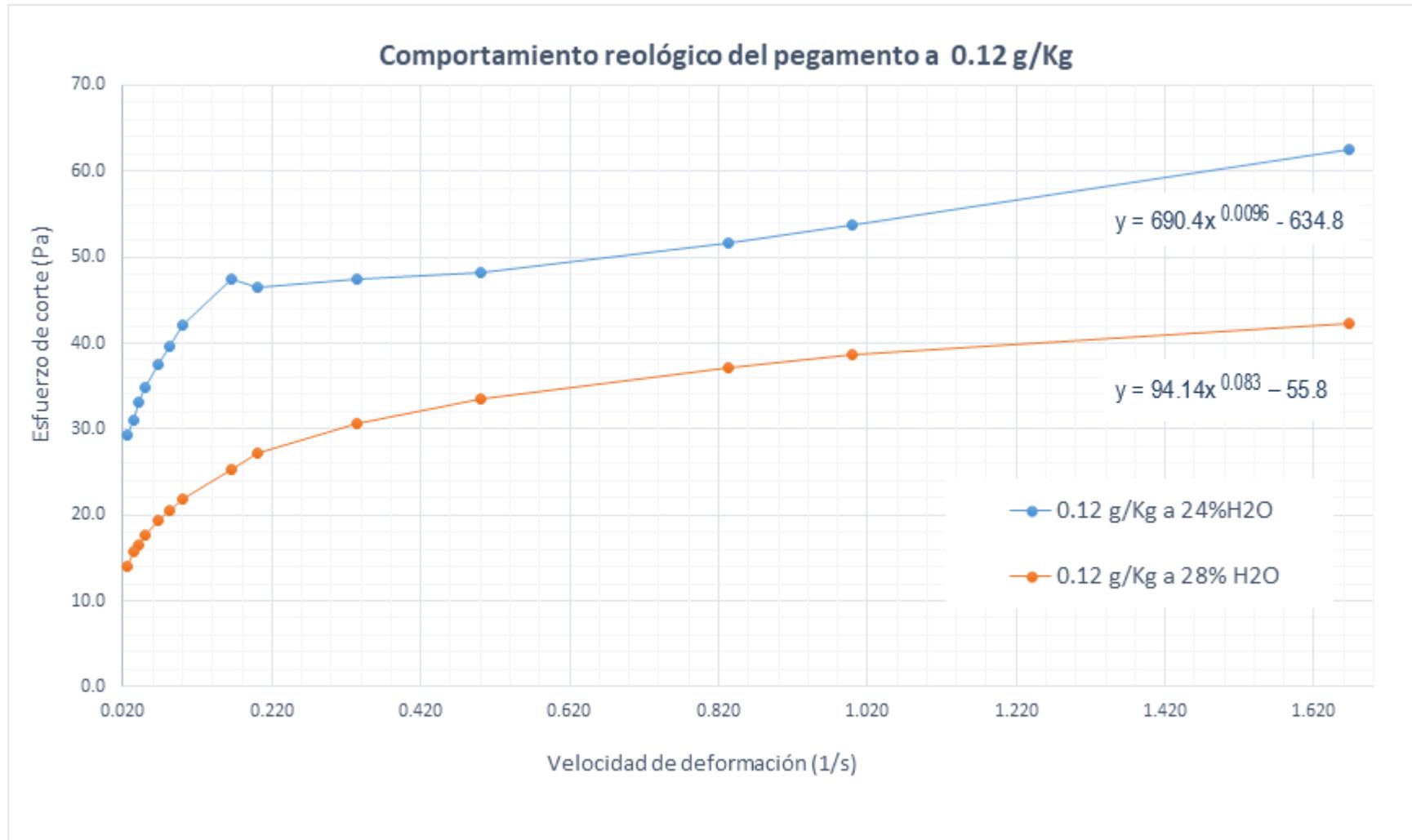
**Tabla 18***Datos reológicos del adhesivo a 0.12 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O*

---

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	25376	1.667	42293	42.3
60.0	38684	1.000	38684	38.7
50.0	44617	0.833	37181	37.2
30.0	67030	0.500	33515	33.5
20.0	92109	0.333	30703	30.7
12.0	135853	0.200	27171	27.2
10.0	151466	0.167	25244	25.2
6.0	217895	0.100	21790	21.8
5.0	245905	0.083	20492	20.5
4.0	290098	0.067	19340	19.3
3.0	351744	0.050	17587	17.6
2.5	397623	0.042	16568	16.6
2.0	470643	0.033	15688	15.7
1.5	557091	0.025	13927	13.9

---

Elaboración propia



**Figura 66.** Comportamiento reológico del adhesivo a 0.12g/Kg  
Elaboración propia

Para una concentración de 0.14 g/Kg

**Tabla 19**

*Datos reológicos del adhesivo a 0.14 g/Kg y 24% H<sub>2</sub>O*

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	41400.0	1.667	69000	69.0
60.0	62761.0	1.000	62761	62.8
50.0	71869.0	0.833	59891	59.9
30.0	115082.0	0.500	57541	57.5
20.0	160917.0	0.333	53639	53.6
12.0	241808.0	0.200	48362	48.4
10.0	269628.0	0.167	44938	44.9
6.0	395357.0	0.100	39536	39.5
5.0	456104.0	0.083	38009	38.0
4.0	539597.0	0.067	35973	36.0
3.0	603753.0	0.050	30188	30.2
2.5	760724.0	0.042	31697	31.7
2.0	899064.0	0.033	29969	30.0
1.5	1096456.0	0.025	27411	27.4

Elaboración propia

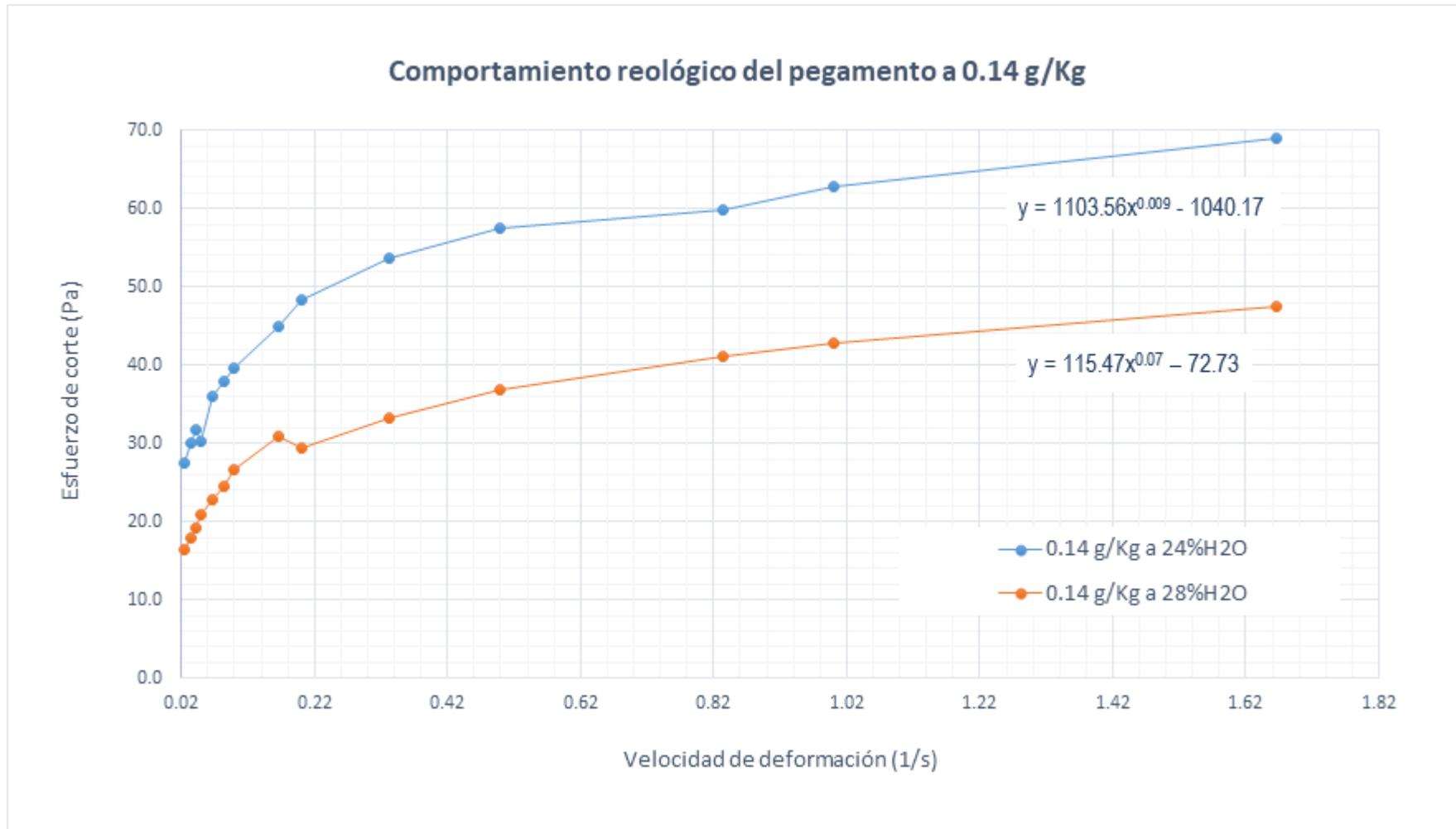
**Tabla 20***Datos reológicos del adhesivo a 0.14 g/Kg y 28% H<sub>2</sub>O*

---

RPM	cP	Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo de corte (cP. s <sup>-1</sup> )	Esfuerzo de corte (Pa)
100.0	28444.0	1.667	47407	47.4
60.0	42882.0	1.000	42882	42.9
50.0	49234.0	0.833	41028	41.0
30.0	73549.0	0.500	36775	36.8
20.0	99483.0	0.333	33161	33.2
12.0	146935.0	0.200	29387	29.4
10.0	185643.0	0.167	30941	30.9
6.0	265470.0	0.100	26547	26.5
5.0	295257.0	0.083	24605	24.6
4.0	343405.0	0.067	22894	22.9
3.0	417664.0	0.050	20883	20.9
2.5	462188.0	0.042	19258	19.3
2.0	539407.0	0.033	17980	18.0
1.5	654818.0	0.025	16371	16.4

---

Elaboración propia



**Figura 67.** Comportamiento reológico del adhesivo a 0.14 g/Kg  
Elaboración propia

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de hipótesis con los resultados

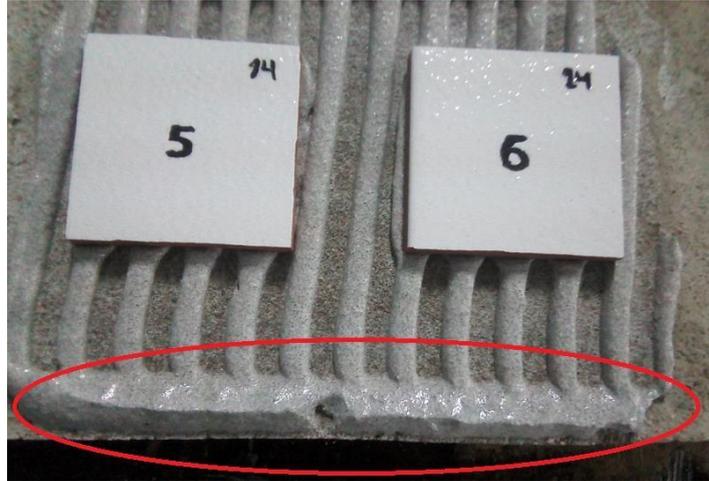
Experimentalmente se demostró, que el punto máximo de resistencia a la tracción se da a  $1.281 \text{ N/mm}^2$  para una concentración de  $0.10 \text{ g/Kg}$  de sal en la mezcla de pegamento con un consumo mínimo de materia prima (figura 48), dándose el comportamiento reológico de un pegamento para cerámicos de óptimas condiciones, bajo un rango aproximado de esfuerzo cortante de  $0$  a  $60 \text{ Pa}$  (figura 65), y no entre un rango de  $0$  a  $40 \text{ Pa}$  como se planteó nuestra hipótesis general al inicio de nuestro trabajo.

Con respecto a nuestra primera hipótesis específica planteada, que el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de un pegamento para cerámicos era el modelo plástico de Bingham, se llegó a demostrar manera gráfica que en todos los escenarios planteados (Demostrados en la figura 64, 65, 66 y 67), que la tendencia sigue el comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico a partir de un esfuerzo de cedencia, a este tipo de comportamiento se le denomina plástico real, definido por el modelo de Herschel–Bulkley expresado por la ecuación matemática siguientes:

$$\tau = \tau_y + (K\dot{\gamma}^n)$$

Siendo de esta manera errónea nuestra primera hipótesis específica planteada al inicio de esta investigación.

En nuestra segunda hipótesis específica, se menciona que tanto el tiempo como la dosificación de agua afectan de manera positiva las características fisicoquímicas de la mezcla de pegamento, demostrándose en la prueba de resistencia a la tracción y con la gráfica de superficie en la figura 63 - Gráfica de superficie resistencia ( $\text{N/mm}^2$ ) vs  $t(\text{días})$ ,  $\% \text{H}_2\text{O}$ . el aumento de los días mejoran la resistencia del producto, al igual que con el aumento de la dosificación de agua, hasta alcanzar el porcentaje de agua óptimo ( $24\%$ ) a partir de ese punto hacia adelante la resistencia cae producto al exceso de agua en la mezcla, evidenciándose este exceso con el fenómeno de exudación.



**Figura 68.** Superficie húmeda por el exceso de agua en el adhesivo  
Elaboración propia

Con respecto a nuestra última hipótesis planteada, hacemos referencia a la figura 59 demostrándose experimentalmente que las características fisicoquímicas de la mezcla de pegamento para cerámicos, se ven afectadas de manera positiva por la concentración de sal y dosificación de agua, la cual mejora su consistencia y autosoportancia, hasta que el exceso de agua y de sal en la mezcla actúan de manera negativa sobre el adhesivo llevándolo a fallas de rotura.

## **6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares**

Chipana Lyanne L. & Luna Catherinne F. en su trabajo “Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola según norma UNE EN 12004 y análisis de costos de producción” realizaron pruebas experimentales para la elaboración de pegamento, con resultados favorables en el producto elaborado ya que este, llegó a cumplir con la norma EN 12004 de ofrecer una resistencia por encima de  $1.0 \text{ N/mm}^2$  (valor promedio de  $1.233 \text{ N/mm}^2$ ), a diferencia del presente trabajo en el cual se obtuvo una resistencia óptima de  $1.281 \text{ N/mm}^2$  realizándose variaciones en las dosificaciones de sal y agua en la mezcla de pegamento, así como el estudio del comportamiento reológico relacionado con el pegamento para cerámicos.

Cajamarca Johan D. & Acero Jeison M. en su trabajo “Comparación técnica de pegantes para cerámica con contenidos de látex y polímeros” estudiaron el comportamiento del látex y del polímero, como aditivos en una mezcla de pegamento para cerámicos, haciendo uso de la norma técnica colombiana NTC 4381, presentando eficaz resistencia a la tracción ambos pegamentos siendo el elaborado a base de látex resistente con una adherencia de 130Kg/cm<sup>2</sup> y a base de polímero con una resistencia de 180 Kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo ambos con los requisitos en la norma. A diferencia del presente trabajo que realizó un estudio más detallado, ya que se realizó la variación de las dosificaciones de agua y sal usada en la mezcla, así como los días de fraguado del pegamento de acuerdo la norma UNE EN 12004, y determinando el modelo reológico de una mezcla de pegamento ara cerámico usado en edificaciones.

## CONCLUSIONES

Se determinó que la mayor resistencia a la tracción la ofrece el pegamento elaborado con 0.10 g/kg de sal y 24% de agua en la mezcla, siendo la resistencia optima de 1.281 N/mm<sup>2</sup> debido a que utiliza la menor cantidad de materia prima y ofrece una mejor trabajabilidad del producto, en comparación al pegamento elaborado con 0.14 g/kg y 24% de agua que también ofrece una resistencia aceptable (1.291 N/mm<sup>2</sup>) pero consumiendo una mayor cantidad de materia prima.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la ayuda del viscosímetro rotacional JP Selecta ST 2001, se determinó que el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de una mezcla optima de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones es el modelo de Herschel Bulkley y no el modelo plástico de Bingham como se pensó al iniciar este trabajo.

Las características fisicoquímicas de la mezcla de pegamento para cerámicos, se ven afectadas de manera positiva por la concentración de sal y dosificación de agua, la cual mejora su consistencia y autosoportancia, hasta que el exceso de agua y de sal actúen de manera negativa sobre el adhesivo llevándolo a fallas de rotura.

La dosificación de sal y agua en exceso influyen de manera negativa en el fenómeno de adherencia mecánica, ya que estos provocan en el pegamento rotura adhesiva entre el adhesivo y el soporte. Esto se evidencia en la superficie de la mezcla preparada la cual presenta una superficie muy humedecida producto del exceso de agua en el pegamento, este fenómeno es conocido como exudación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del usillo #7 para la lectura de la viscosidad con el viscosímetro rotacional J.P. SELECTA modelo ST 2001, ya que la muestra de pegamento es una pasta bastante viscosa que no permite el funcionamiento de los usillos con distintas categorías.

Según la norma 12004 – 2, se recomienda la aplicación del adhesivo epóxico en las placas metálicas y baldosas, con un día de anticipación para que este producto pueda lograr su máxima adherencia y poder tener una lectura de resistencia adecuada y sin errores posibles.

Para realizar el pegado de las placas metálicas a las placas de baldosas, usando el adhesivo epóxico, se recomienda el uso de protector respiratorio, así como guardapolvo y guantes de protección, ya que este producto químico es altamente toxico el cual podría generar daños a la salud, así también al medio ambiente.

Se recomienda limpiar y humedecer con agua la base de concreto para una adecuada adherencia y así no tener inconvenientes con el pegado.

Se recomienda el adecuado almacenamiento de las materias primas ya que estos captan rápidamente la humedad y se dificultaría la manipulación de estos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANFAPA.(2008). Obtenidodewww.anfapa.com:<https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/103/une-en-1348-adhesivos-para-baldosas-ceramicas-determinacion-de-la-resistencia-a-la-traccion-de-los-adhesivos-cementosos>
- Asociación de Fabricantes de Morteros y SATE. (s.f.). Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros Industriales y sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE). Obtenido de <https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocación-de-baldosas-cerámicas/156/adhesivos-para-colocacion-de-baldosas-ceramicas-y-otros-materiales-rigidos-modulares-1>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2019). AENOR international S.A. Obtenido de <https://www.aenor.com/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros Industriales. (s.f). Estudio de la Calidad de Adhesivos y Morteros para la Colocación de Baldosas Ceramicas.
- Barnes, H. (2000). A Handbook of Elementary Rheology. Reino Unido.
- Black, J., & Kohser, R. (2012). DeCarmo's materials and processes in manufacturing.
- Cajamarca, J. D., & Acero, J. M. (2015). Comparación Técnica de Pegantes para Cerámica con Contenidos de Latex y Polimerios. Colombia.
- Cardona Lapion, N., & Bedoya Moreno, M. I. (2009). Estudio comparativo de modelos reológicos para lodos de perforación. Colombia.
- Chipana Montecinos, L. L., & Luna Maydana, C. F. (2018). Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola según norma UNE EN 12004 y analisis de costo de producción. La Paz.
- Concepto.de.(2018). Obtenido de <https://concepto.de/viscosidad/>
- Condor Navarro, F. E. (2008). Modelo predictivo del comportamiento reológico de zumo de guanabana (Annona muricata Linnaeus C.) azucarado. Perú.
- CONSTRUMÁTICA. (s.f.). Construmatica: Metaportal de Arquitectura, ingeniería y Construcción. Obtenido de [www.construmatica.com:https://www.construmatica.com/construpedia/Componentes\\_del\\_Mortero.\\_Caracter%C3%ADsticas](http://www.construmatica.com:https://www.construmatica.com/construpedia/Componentes_del_Mortero._Caracter%C3%ADsticas)
- De la cruz Porta, E. A., & Puchoc Ulloa, K. R. (2014). Cracaterización reologica de la compota a base de la pulpa de zapallo Macre (Cucurbita maxima Duchesne) a diferente concentraciones de goma Xantana. Perú.

- Felixberger, J. K. (2008). Adhesivos de colocación en capa delgada modificados con polímeros. Alemania.
- Fernández Fernández , A. (2009). Influencia de los parámetros de obtención de lingotes Al-Si-Mg con. España.
- Fernandez Martinez, R. R., & Ibarra Arroyo, J. L. (2013). Optimización en la recuperación de agua de los relaves de minerales concentrados a través de un espesador en pasta en una planta concentradora de minerales. Perú.
- Franco Matos, C. E., & Sanchez Casas, C. C. (2017). Determinación de los modelos reologicos asociados al zumo de piña. Perú.
- Galan, E., & Aparicio, P. (s.f.). Materias primas para la industria ceramica. España.
- Gaspar, A. (2006). Caracterización Reológica de los materiales, Teoría y Aplicaciones. Colombia: TA Instruments.
- Gonzalez Cudilleiro, D. (2011). Guía de la Baldosa Ceramica. España: Colección del Centro Editorial .
- Jones, M. P. (1992). Estudio de la Calidad de Adhesivo y Morteros para la Colocación de Baldosas Cerámicas. Ponencia Qualicer.
- Llumiyinga Suquillo, J. E. (2012). Estudios de la Viscosidades Medias en Tuberias de Sistemas de Distribucion en Fluidos no Newtonianos tipo Barbotina en la Empresa FV para propósito de aumentode la eficiencia en proceso de produccion. Ecuador.
- Lozano Assad, F. (2009). Análisis y pronóstico de las ventas de recubrimientos cerámicos en México. Mexico.
- Materiales continental: todo para la construcción (2014) <http://materialescontinental.com>. Obtenido de <http://materialescontinental.com/baldosas.html>
- Mogollón Babbage, J. E. (2006). Morteros secos en el campo de la construcción. Lima.
- Mortero, A. N. (2003). Mortero Guia General. España.
- Panchi Guanoluisa, A. N. (2013). Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentración de sólidos solubles mediante el uso de equipo universal TA – XT2i. Ecuador.
- Pisos y Revestimientos. (s.f.). [www.PisosyRevestimientos.com](http://www.PisosyRevestimientos.com). Obtenido de <https://pisosrevestimientos.com/>
- Quispe Arias, Y. P. (2015). Perfil reológico de la pulpa de Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Perú.

- Ramirez, J. (2006). Introducción a la Reología de los Alimentos. Colombia.
- Ramos, J. L. (2008). Adhesivo y Materiales de Rejuntado: Colocación de baldosas cerámicas y otros recubrimientos rígidos modulares. España.
- Ranalli, N. (2015). Innovaciones para la elaboración de productos lácteos azucarados saludables tipo dulce de leche. Argentina.
- Restrepo Baena, O. J. (2011). Baldosas cerámicas y gres Porcelánico: Un mundo en permanente evolución. Colombia.
- Rodriguez Mora, O. (2003). AFAM Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero. España.
- Rosas Chavez, C. M., & Rodriguez Espada, M. R. (2017). Modelos reológicos relacionados a la pulpa del Camu Camu. Perú.
- Sobrado Gómez, A. (2018). Modelos reológicos asociados al nectar mix de papaya - piña. Perú.
- Tinoco Oscanoa, L. K. (2016). Efecto de la Temperatura y Concentración en el Perfil Reológico de la Pulpa de Melón (cucumis melo). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Torres, F. (2000). Reología de Polímeros: Parte 1. Noción Básica y Modelos Reológicos. Revista de Química PUCP, 37-38.

# **ANEXO**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES REOLÓGICAS ÓPTIMAS DE UNA MEZCLA DE PEGAMENTO PARA CERÁMICOS PARA USO EN EDIFICACIONES

PROBLEMAS	OBEJETIVOS GENERALES	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cuáles serán las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámico para uso en edificaciones?	Determinar las condiciones reológicas óptimas de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.	Los parámetros reológicos óptimos de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones se dan bajo un esfuerzo cortante de 0 a 40 Pa.	Y1= Modelo Reológico	Esfuerzo cortante	Pa	Gráfico
SUB – PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES		
a. ¿Cuál es el modelo reológico que determina el comportamiento de una mezcla óptima de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones?	a. Determinar el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.	a. El modelo reológico que mejor describe el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones es el de modelo plástico de Bingham	X1= Concentración de sal	– Concentración de sal	g/Kg	Cuantitativo
			X2 = Dosificación de agua	– Dosificación de agua	%	Cuantitativo
			X3= Tiempo de fraguado	– Tiempo	Hrs, días	Tiempo definido en la norma UNE 12004
b. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas que afectan el comportamiento reológicos de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones?	b. Determinar las características fisicoquímicas que afectan el comportamiento de una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones.	b. Las características fisicoquímicas que afectan de manera positiva a una mezcla de pegamento para cerámicos para uso en edificaciones son el tiempo de fraguado y la dosificación de agua.				
c. ¿Cuáles deben ser las dosificaciones adecuadas de componentes en una mezcla de pegamento que proporcione una óptima consistencia al producto?	c. Establecer la dosificación adecuada de agua y sal en una mezcla de pegamento que proporcione una óptima consistencia del producto.	c. El aumento de la dosificación de agua y sal para la preparación del pegamento para baldosa cerámica, mejora la consistencia y autosoportancia de la mezcla.				

### Formulaciones típicas de adhesivos para mayólicas (en partes por peso)

Tipo de adhesivo *	A	B
Cemento Portland (OPC)	45	35
Arena silicea (0.05 – 0.5 mm)	53.1 – 51.6	59.6 – 57.6
Éter de celulosa (viscosidad aproximada de 40 000 mPas)	0.4	0.3
Polvo redispersable	0 – 4	5 – 10
Aditivos (si se requiere alguna propiedad especial)	(0 – 5)	(0 – 5)

\* Tipo A = adhesivo para mayólica estándar modificado con polímero, Tipo B = adhesivo para mayólica flexible, de alta calidad y modificado con polímero.

Mogollón Babbage, 2006

## NORMA 12004-2

### EN 12004 -2 Adhesivos para baldosas cerámicas, parte 2: Métodos de ensayo

#### 8.3 Determinación de la adherencia en tracción para adhesivos cementosos (C)

##### 8.3.1 Materiales de ensayo

###### 8.3.1.1 Baldosas cerámicas

Las baldosas utilizadas para este método deben ser baldosas cerámicas prensadas en seco conforme a la Norma EN 14411, grupo BI<sub>1</sub>, completamente vitrificadas, con una absorción de agua  $\leq 0,5\%$  en masa, no esmaltada, con superficie de adherencia plana y mate, y con unas dimensiones faciales de  $(50 \pm 1) \text{ mm} \times (50 \pm 1) \text{ mm}$ .

###### 8.3.1.2 Soporte de ensayo

La placa de hormigón debe cumplir los requisitos dados en el apartado 5.3.1.

##### 8.3.2 Aparatos

###### 8.3.2.1 Pesa

Pesa capaz de ejercer una fuerza de  $(20 \pm 0,05) \text{ N}$ , con un área de sección transversal inferior a  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ .

###### 8.3.2.2 Cabezales de tracción

Piezas metálicas cuadradas, de dimensiones  $(50 \pm 1) \text{ mm} \times (50 \pm 1) \text{ mm}$  y un espesor mínimo de 10 mm con un dispositivo de acoplamiento adaptado a la máquina de tracción.

###### 8.3.2.3 Máquina de tracción

Instrumento de ensayo que permita ejercer una fuerza de tracción directa, con capacidad y sensibilidad adecuadas para el ensayo. La máquina debe ser capaz de aplicar una carga al cabezal de tracción a una velocidad de  $(250 \pm 50) \text{ N/s}$  mediante el dispositivo de acoplamiento sin causar deformación.

###### 8.3.2.4 Estufa con circulación de aire

Estufa con circulación de aire, capaz de controlar la temperatura dentro de un intervalo de  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

###### 8.3.2.5 Llana dentada

Llana dentada que tenga dientes de  $6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  distanciados 12 mm entre centros de dientes.

##### 8.3.3 Procedimiento

###### 8.3.3.1 Preparación de las probetas

Se aplica una capa fina de adhesivo amasado según el capítulo 6, en la superficie de la placa de hormigón utilizando una llana de borde recto. Se aplica seguidamente una capa más gruesa de adhesivo y se peina con una llana dentada (véase 8.3.2.5).

La llana debe mantenerse formando un ángulo de aproximadamente  $60^\circ$  con el soporte, y en ángulo recto con el borde de la placa, y desplazarse paralelamente a dicho borde (en línea recta).

## Anexo A (Normativo)

### Placa de hormigón para ensayo

#### A.1 Información general

Se puede fabricar y ensayar una placa de hormigón para los ensayos de adhesivos descritos en esta norma utilizando los procedimientos descritos. Pueden utilizarse otros productos de hormigón que cumplan los requisitos descritos en el apartado 5.3.

#### A.2 Condiciones de ensayo

Se deben aplicar las condiciones de ensayo dadas en el capítulo 4.

#### A.3 Aparatos

##### A.3.1 Cabezal de tracción

Placas metálicas cuadradas (por ejemplo, de acero, aluminio), con medidas  $(50 \pm 1)$  mm  $\times$   $(50 \pm 1)$  mm y un espesor mínimo de 10 mm con un dispositivo de acoplamiento adaptado a la máquina de tracción.

##### A.3.2 Máquina de tracción

La máquina de ensayo debe ser capaz de ejercer una carga al cabezal de tracción a una velocidad de  $(250 \pm 50)$  N/s, mediante el dispositivo de acoplamiento sin causar deformación.

##### A.3.3 Tubo de vidrio Carsten-Röhrchen

Tubo de vidrio Carsten-Röhrchen u otro aparato apropiado para medir la absorción de agua en la superficie de la placa de hormigón (véase la figura A.1).

#### A.4 Placa de hormigón

##### A.4.1 Fabricación de la placa de hormigón

Las especificaciones (véase 5.3.1) se pueden obtener por el siguiente procedimiento de fabricación de la placa de hormigón:

- aglomerante: Cemento Portland tipo CEM I 42,5 conforme a la Norma EN 197-1;
- árido: grava, de tamaño de partícula entre 0 mm y 8 mm, con curva granulométrica continua entre A y B (véase la figura A.2);
- proporción entre aglomerante y árido: 1:5 en masa;

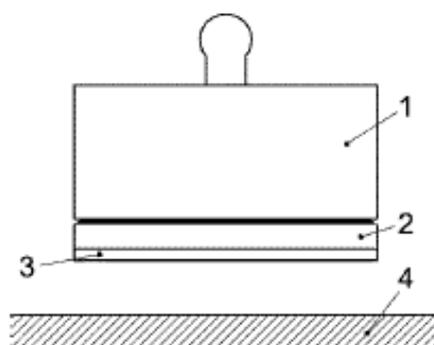
## Anexo B (Normativo)

### Tipos de rotura

#### B.1 Rotura adhesiva (AF-S o AF-T)

Cuando ocurre el fallo en la interfase entre el adhesivo y el soporte, se utiliza la notación AF-S, cuando ocurre entre la baldosa y el adhesivo se utiliza la notación AF-T y en ambos casos los valores de ensayo correspondientes a la resistencia a la adherencia (véanse las figuras B.1 y B.2).

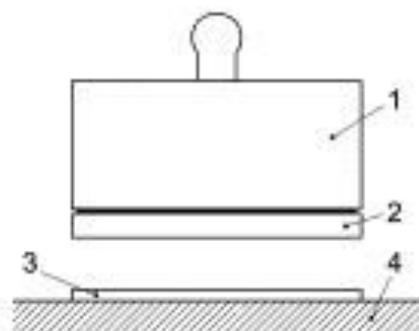
En algunos casos el fallo puede ocurrir en la capa de adhesivo entre la baldosa y el cabezal de tracción. En este caso la notación utilizada es BT, véase la figura B.3, y la resistencia a la adherencia es mayor que el valor del ensayo. Se debería repetir el ensayo.



#### Leyenda

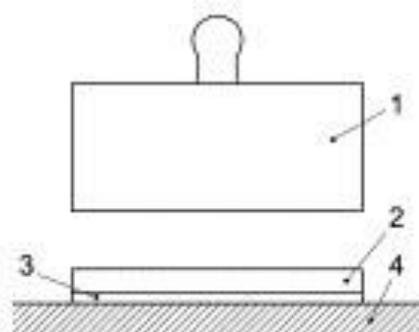
- 1 Cabezal de tracción
- 2 Baldosa
- 3 Adhesivo
- 4 Soporte (placa de hormigón)

Figura B.1 - Rotura adhesiva entre el adhesivo y el soporte (AF-S)



## Leyenda

- 1 Cabezal de tracción
- 2 Baldosa
- 3 Adhesivo
- 4 Soporte (placa de hormigón)

**Figura B.2 - Rotura adhesiva entre la baldosa y el adhesivo (AF-T)**

## Leyenda

- 1 Cabezal de tracción
- 2 Baldosa
- 3 Adhesivo
- 4 Soporte (placa de hormigón)

**Figura B.3 - Rotura adhesiva entre la baldosa y el cabezal de tracción (BT)**

## CARACTERÍSTICAS DE LOS ADHESIVOS SEGÚN NORMA EN 12004

### Adhesivos en Dispersión (D)

Todos los adhesivos en dispersión deben cumplir con las características de la tabla 2a. Las tablas 2b, 2c y 2d incluyen las características opcionales que se pueden requerir para condiciones de uso especiales.

2 a	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES (D1)	
Característica	Requisito	
Adherencia inicial	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
Adherencia después de envejecimiento con calor	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 20 min	
<b>CARACTERÍSTICAS OPCIONALES</b>		
2 b	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES (T)	
Característica	Requisito	
Deslizamiento	$\leq 0,5 \text{ mm}$	
2 c	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES (D2)	
Característica	Requisito	
Adherencia después de inmersión en agua	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	
Adherencia a alta temperatura	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
2 d	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES (E)	
Característica	Requisito	
Tiempo abierto ampliado: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 30 min	

### Adhesivos de resinas reactivas (R)

Todos los adhesivos de resinas reactivas deben cumplir con las características de la tabla 3a. Las tablas 3b y 3c incluyen las **características opcionales** que **pueden** requerirse para condiciones de uso especiales.

Para la característica de resistencia química (véase EN 12808-1) no se establece ningún valor límite o producto químico. El ensayo debe realizarse con el producto químico y en las condiciones (temperatura, concentración, etc.) al que se le exija la resistencia química durante su uso.

3 a	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES (R1)	
Características	Requisito	
Adherencia inicial	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$	
Adherencia después de inmersión en agua	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$	
Tiempo abierto: adherencia	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 20 min	
<b>CARACTERÍSTICAS OPCIONALES</b>		
3 b	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES (T)	
Características	Requisito	
Deslizamiento	$\leq 0,5 \text{ mm}$	
3 c	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES (R2)	
Características	Requisito	
Adherencia después de choque térmico	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$	

**Distribución porcentual de los materiales usados en la elaboración del pegamento**

<b>Material usado</b>	<b>%</b>
Material árido (Arena fina)	70.2
Conglomerante hidráulico (Cemento Portland)	23
Éter de celulosa	0.3
Polvo redispersable	0.5
Aditivos adicionales	6

Elaboración propia