

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ciencias



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“Influencia de los polímeros HPMC y EVA en el comportamiento de un pegamento cementicio (C2) aplicado para la colocación de porcelanatos”

Para obtener el Título Profesional de Licenciado en Química

Elaborado por:

Rosario Josefina Uzuriaga Sanchez

 0009-0005-2497-4146

Asesor:

Mg. Rosario Cristina López Cisneros

 0000-0002-8420-497X

LIMA – PERÚ

2025

Citar/ How to cite	Uzuriaga Sanchez [1]
Referencia/ Reference	R. Uzuriaga Sanchez “ <i>Influencia de los polímeros HPMC y EVA en el comportamiento de un pegamento cementicio (C2) aplicado para la colocación de porcelanatos</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/ Style: IEE (2020)	

Citar/ How to cite	(Uzuriaga, 2025)
Referencia/ Reference	Uzuriaga, R. (2025). <i>Influencia de los polímeros HPMC y EVA en el comportamiento de un pegamento cementicio (C2) aplicado para la colocación de porcelanatos</i> [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
Estilo/ Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis Padres, Andrés y Josefina por todo el gran amor,
confianza y por ser mi inspiración en cada etapa de mi vida,*

*A mi esposo Juan Pablo y mi hija Cataleya
por su inmenso amor y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos, Marco, Rocío, Milagros,
Luis, por el amor y sus consejos.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Mg. Rosario López, mi asesora de tesis, por su guía y apoyo a lo largo de este proceso. Su experiencia, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo y la culminación de este trabajo.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi jefe Jimmy Chang y compañeros de área, por sus conocimientos brindados. Su influencia perdura en cada paso de mi formación y en cada logro alcanzado en este trabajo.

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en el impacto que tienen los polímeros HidroxiPropil Metil Celulosa (HPMC) y Etileno y Acetato de Vinilo (EVA) en el desarrollo de un pegamento cementicio mejorado de clasificación C2 que tienen gran importancia en el sector construcción.

En el pasado, la gran mayoría de las baldosas de distintos materiales, como, por ejemplo: cerámica, porcelanato, mármol, granito, gres, entre otros, se pegaban con una mezcla de cemento, agregados y agua que se preparaba en la obra al momento de instalar; no había un exacto control de proporciones o de las características de los agregados. Hoy en día, el tema es distinto ya que se han desarrollado procesos industriales y de investigación y desarrollo para la fabricación de este tipo de pegamentos cementicios de clasificación C2.

Se realizó el estudio del polímero HidroxiPropil Metil Celulosa (HPMC) a diferentes dosificaciones (0,2% a 0,5%) en formulación de pegamento hasta obtener la dosis óptima de 0,3% donde se observó que el pegamento mejoro su tiempo abierto, trabajabilidad, resistencia a la compresión y disminuyó su deslizamiento vertical.

Se procedió a realizar el estudio a diferentes dosificaciones (1% a 3%) del polímero Etileno y Acetato de Vinilo (EVA) en la formulación del pegamento hasta obtener la dosis óptima de 3% donde se observó un aumento en la adherencia a la tracción.

De esta manera añadiendo estos polímeros en la formulación del pegamento se cumplió con la norma ISO 13007 clasificado como C2.

Palabras-clave: EVA, Adherencia, polímero, HPMC, pegamento

ABSTRACT

This research focuses on the impact of the polymers Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) and Ethylene and Vinyl Acetate (EVA) in the development of an improved cementitious adhesive of C2 classification, which are of great importance in the construction sector.

In the past, the vast majority of tiles of different materials, such as ceramic, porcelain, marble, granite, stoneware, among others, were glued with a mixture of cement, aggregates and water that was prepared on site at the time of installation; there was no exact control of proportions or characteristics of the aggregates. Today, the issue is different since industrial and research and development processes have been developed for the manufacture of this type of C2-rated cementitious adhesives.

The study of the polymer Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) at different dosages (0,2% to 0,5%) in glue formulation was carried out until obtaining the optimum dosage of 0,3%, where it was observed that the glue improved its open time, workability, compressive strength and decreased its vertical slip.

The study was carried out at different dosages (1% to 3%) of the polymer Ethylene and Vinyl Acetate (EVA) in the glue formulation until the optimum dosage of 3% was obtained, where an increase in the adhesion to traction was observed.

Thus, adding these polymers in the glue formulation complied with the ISO 13007 standard classified as C2.

Key-words: EVA, adhesion, polymer, HPMC, glue, adhesive

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I. PARTE INTRODUCTORIA DEL TRABAJO...	1
1.1 Planteamiento del problema...	1
1.2 Objetivos...	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	2
2.1 Antecedentes.....	2
2.2 Pegamentos para baldosas.....	2
2.2.1 Tipos de pegamentos	3
2.2.2 Clasificación de pegamentos.....	3
2.2.2.1 Especificaciones para pegamentos cementicios (C).....	7
2.3 Prestaciones.....	11
2.3.1 Adherencia.....	11
2.3.1.1 Concepto.....	11
2.3.2 Adherencia mecánica y química.....	11
2.3.3 Tiempo abierto y Tiempo abierto extendido (E).....	12
2.3.4 Fraguado rápido (F).....	12
2.3.5 Deslizamiento reducido(T).....	12
2.3.6 Deformabilidad (S).....	13
2.4 Composición de los pegamentos para baldosas.....	13
2.4.1 Aglomerantes.....	13
2.4.2 Áridos.....	15
2.4.3 Aditivos químicos.....	15
2.4.3.1 Aceleradores.....	16
2.4.3.2 Antiespumantes.....	16

2.4.3.3 Retardantes...	16
2.4.3.4 Polímeros redispersables...	17
2.4.3.5 Retenedores de agua...	20
2.4.3.6 Mecanismo de Acción del HPMC en el pegamento...	21
2.5 Formulaciones típicas para pegamentos cementicios	22
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN...	23
3.1 Parte experimental...	23
3.2 Muestra...	23
3.3 Lugar de estudio...	24
3.4 Materias primas...	25
3.5 Materiales...	26
3.6 Placa de Concreto...	27
3.7 Equipos...	27
3.7.1 Dinamómetro Proceq DY- 216...	27
3.7.2 Balanza digital Mettler Toledo...	28
3.7.3 Prensa Hidráulica...	29
3.7.4 Viscosímetro DV2T Brookfield...	29
3.8 Procedimiento experimental...	30
3.8.1 Determinación de la solución espesante al 2% del Éter de Celulosa (HPMC)...	30
3.8.2 Determinación de la Adherencia a la tracción...	31
3.8.3 Determinación de la Resistencia a la compresión...	35
3.8.4 Determinación del Tiempo Abierto...	37
3.8.5 Determinación del Deslizamiento...	38
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS...	39
4.1 Resultados...	39
CONCLUSIONES...	59

RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	63

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 1: Ejemplos de Designación y Clasificación	5
Tabla 2: Especificaciones para pegamentos cementicios (C)... ..	8
Tabla 3: Especificaciones para pegamentos cementicios (C) con características especiales... ..	9
Tabla 4: Formulaciones para los pegamentos de baldosas estándar y flexibles.....	22
Tabla 5: Datos técnicos del HPMC M1... ..	25
Tabla 6: Datos técnicos del EVA.....	25
Tabla 7: Viscosidad de la Solución espesante al 2% de los éteres de Celulosa.....	39
Tabla 8: Comparativo de los tiempos abiertos a diferentes dosis de HPMC M1.....	49
Tabla 9: Comparativo de los deslizamientos a diferentes dosis de HPMC M1.....	50
Tabla 10: Comparativo de datos técnicos de un pegamento cementicio C1 vs un pegamento cementicio C2... ..	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Gráfica de la representación de la adherencia...	11
Figura 2: Glicol de Polialqueno.....	16
Figura 3: Polisiloxano.....	16
Figura 4: Ácido cítrico.....	17
Figura 5: Ácido tartárico.....	17
Figura 6: Polímero de etileno y acetato de vinilo (EVA).....	19
Figura 7: Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC).....	21
Figura 8: Gráfica de distribución de muestras en la placa de concreto.....	24
Figura 9: Dinamómetro Proceq DY – 216.....	28
Figura10: Balanza Digital Mettler Toledo (RD-9001).....	28
Figura11: Prensa Hidráulica (Serie Forney 325).....	29
Figura12: Viscosímetro DV2T Brookfield.....	30
Figura13: Pesaje de muestras.....	31
Figura14: Aplicación del pegamento.....	33
Figura15: Colocación de los porcelanatos.....	33
Figura16: Colocación de la pesa de 2 Kilos.....	33
Figura17: Porcelanatos colocados en el sustrato.....	34
Figura18: Extracción de los porcelanatos.....	35
Figura19: Orden de apisonado de los moldes de pegamento.....	36
Figura 20: Moldes de Pegamento	36
Figura 21: Cuarto de Curado.....	36

Figura 22:	Prueba de Tiempo Abierto a los pegamentos.....	37
Figura 23:	Prueba del Deslizamiento a los pegamentos.....	38
Figura 24:	Efecto del porcentaje de Agua en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento C2.....	42
Figura 25:	Efecto del porcentaje de agua en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2.....	43
Figura 26:	Efecto del porcentaje de HPMC M1 en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento.....	45
Figura 27:	Efecto del porcentaje de HPMC M1 en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2.....	47
Figura 28:	Tiempo Abierto a) HPMC M1 al 0,2% b) HPMC M1 al 0,3%, c) HPMC M1 al 0,4% d) HPMC M1 al 0,5%.....	48
Figura 29:	Deslizamiento a) HPMC M1 al 0,2% b) HPMC M1 al 0,3%, c) <i>HPMC M1</i> <i>al 0,4% d) HPMC M1 al 0,5%</i>	49
Figura 30:	Efecto del porcentaje de EVA en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento C2.....	52
Figura 31:	Efecto del porcentaje de EVA en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2.....	53
Figura 32:	Comparativo de la adherencia a la tracción de los pegamentos C1 y C2.....	56
Figura 33:	Comparativo de la resistencia a la compresión de los pegamentos C1 y C2.....	57

Lista de Abreviaturas

HPMC: Hidroxipropil metil celulosa

EVA: Etileno y Acetato de vinilo

min: Minuto

g: Gramo

MPa: Milipascal

cP: Centipoise

mm: Milímetro

INTRODUCCIÓN

Los porcelanatos se han utilizado en la construcción desde los años 80, se han empleado en la edificación para la decoración de paredes y pisos, lo que ha permitido el despliegue de creatividad y diseño por parte de profesionales en el sector de la construcción.” (Black, J., & Kohser, R.,2012). El material empleado es una arcilla blanca refinada y otros materiales que pasan por un proceso de prensado, secado y tratado a una temperatura que puede exceder los 1300 °C en algunos casos.

Los pegamentos cementicios se establecieron hace más de dos mil años tenían el nombre de morteros de colocación. En aquella época, los romanos introdujeron, un precursor del cemento portland moderno. Debido a la alta resistencia a la compresión, los romanos podían erigir los enormes acueductos y las gigantes cúpulas voladizas, como el panteón de Roma con 43 metros de diámetro.

Desde el período inicial hasta la mitad del siglo pasado, los morteros de colocación se prepararon básicamente mediante el mezclado manual de cemento, arena y agua en la relación apropiada, a pie de obra.

La calidad del mortero elaborado a mano dependía de la calidad de las materias primas utilizadas y de su adecuada relación en el procesado del lote, aspectos difíciles de supervisar. Sin embargo, en la década de 1950, llegó una innovación muy importante que revolucionaron la tecnología del mortero de colocación. (González Cudilleiro, D.,2011).

Fue el desarrollo de polímeros para morteros de colocación entre ellos tenemos los llamados polímeros redispersables, estos polímeros se incorporan brindándoles mejor elasticidad, adherencia al sustrato y el éter de celulosa que le proporciona una capacidad humectante al sustrato.

CAPÍTULO I. PARTE INTRODUCTORIA DEL TRABAJO

1.1 Planteamiento del problema

El presente trabajo busca desarrollar un pegamento cementicio mejorado (C2) utilizando en la formulación del pegamento los polímeros como: Etileno y Acetato de Vinilo (EVA) conocido como polímero redispersable y Hidroxipropil metil Celulosa (HPMC) como éter de celulosa, controlando las dosis óptimas para conseguir la adherencia y resistencia a la compresión óptima del pegamento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- ✓ Determinar las dosis óptimas de los polímeros EVA y HPMC en la formulación de un pegamento cementicio C2 para uso en porcelanatos.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar las propiedades fisicoquímicas que influyen en el comportamiento de una mezcla de pegamento para porcelanatos destinada a ser utilizada en construcciones.
- ✓ Determinar la dosificación correcta de agua en la mezcla de pegamento para asegurar una consistencia óptima del producto.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

Los polímeros constituyen el componente esencial para los productos de la edificación. Los polímeros, que provienen de la palabra griega poli, que significa 'muchos' y mero, que significa 'partes', son macromoléculas químicas. Estos polímeros, sumamente adaptables, están presentes en múltiples aplicaciones de nuestra vida diaria. El mercado de la construcción sigue creciendo considerablemente para ello brindamos nuevos polímeros para el desarrollo de materiales avanzados de alto desempeño como por ejemplo los polímeros redispersables (EVA) y éter de celulosa (HPMC) que son empleados en la producción de gran parte de los pegamentos cementicios para el asentamiento de baldosas como, porcelanatos en piso, paredes y fachada.

2.2 Pegamentos para baldosas

Son materiales destinados a la instalación de baldosas, producidos de manera industrial y proporcionados en uno o más componentes para su uso por el sistema de capa delgada. Históricamente, se les denominaba cementos cola o morteros cola, no obstante, cuentan con la aprobación de la norma (ISO 13007 -1, 2010), se ha adoptado una denominación más específica para su función y se han vuelto a llamar pegamentos para la colocación de baldosas. Esto se debe a que a los pegamentos convencionales de base cemento (morteros cola) se les añaden ahora los pegamentos de dispersión (pastas adhesivas) y los de pegamentos de resinas de reacción. Este cambio se debe al progreso de la industria a la baldosa que ha integrado componentes de mayor tamaño y menor absorción, como el porcelanato, lo que ha originado nuevos requisitos para la unión de estos componentes.

Además, ha surgido una evolución en la industria de los adhesivos que ha creado producto que garantizan una colocación duradera, algo que resultaba inviable con un mortero convencional.

2.2.1 Tipos de pegamentos

- Pegamento cementicio (C): Es una combinación de conglomerantes hidráulicos, cargas minerales y aditivos orgánicos, que se debe combinar únicamente con agua antes de su aplicación.
- Pegamento en dispersión (D): Se presenta una combinación de conglomerante(s) orgánico(s) en forma de polímero en dispersión acuosa, aditivos orgánicos y cargas minerales, preparada para su empleo.
- Pegamento de resinas reactivas (R): Combinación de resinas artificiales, aditivos orgánicos y cargas minerales que se endurecen a través de un proceso químico. Se presentan en forma de uno o varios componentes.

2.2.2 Clasificación de Pegamentos

Los pegamentos para baldosas se definen en tres tipos según la clasificación de la norma (ISO 13007-1 , 2010).

Pegamento para baldosas se clasifican de la siguiente manera;

- C Pegamento cementicio
- D Pegamento en dispersión
- R Pegamento de resina reactivas

Para cada tipo, es posible tener diferentes clases, relacionados con combinaciones de las diferentes características adicionales y especiales, de acuerdo con las tablas 1, 2 y 3. Estas clases se designan con las siguientes abreviaciones:

1 pegamento normal (estándar)

2 pegamento mejorado

F pegamento cementicio de fraguado rápido

A pegamento de dispersión de secado acelerado

T pegamento antideslizante

E pegamento con tiempo abierto extendido

S característica deformable especial solo para pegamentos cementicios

P pegamento con adherencia al exterior de contrachapado

La designación de pegamento se genera con el símbolo del tipo (C, D, o R), seguido por la abreviación de la clase o clases a las que pertenecen. La siguiente tabla describe la designación de los pegamentos para baldosas.

Tabla 1
Ejemplos de Designación y Clasificación

Tipo de símbolo	Número	Clase	Descripción
C	1		Pegamento cementicio normal
C	1	F	Pegamento cementicio de fraguado rápido
C	1	T	Pegamento cementicio normal con resistencia al deslizamiento
C	1	FT	Pegamento cementicio de fraguado rápido con resistencia al deslizamiento
C	2		Pegamento cementicio con características mejoradas
C	2	E	Pegamento cementicio con características mejoradas y tiempo abierto extendido
C	2	F	Pegamento cementicio de fraguado rápido con características mejoradas
C	2	T	Pegamento cementicio con características mejoradas y resistencia al deslizamiento
C	2	TE	Pegamento cementicio con características mejoradas, resistencia al deslizamiento y tiempo abierto extendido
C	2	FT	Pegamento cementicio de fraguado rápido con características mejoradas y resistencia al deslizamiento
D	1		Pegamento en dispersión normal de fraguado rápido

D	1	T	Pegamento cementicio normal con resistencia al deslizamiento.
D	2		Pegamento en dispersión con características mejoradas.
D	2	A	Pegamento en dispersión de secado acelerado con características mejoradas.
D	2	T	Pegamento en dispersión con características mejoradas con resistencia al deslizamiento.
D	2	TE	Pegamento en dispersión con características mejoradas, resistencia al deslizamiento y tiempo abierto extendido.
R	1		Pegamento de resina reactiva normal.
R	1	T	Pegamento de resina reactiva normal con resistencia al deslizamiento.
R	2		Pegamento de resina reactiva con características mejoradas.
R	2	T	Pegamento de resina reactiva con características mejoradas y la resistencia al deslizamiento.
NOTA: Designaciones adicionales pueden ser insertadas de acuerdo con la combinación de los diferentes símbolos de las características. Por ejemplo: C2ES1P1 - pegamento cementicio mejorado con tiempo abierto extendido y adhesión normal al contrachapado exterior. [3]			

2.2.2.1 Especificaciones para pegamentos cementicios (C)

Los pegamentos cementicios deben cumplir con todas las características fundamentales C1 reportados en Tabla 2. La cantidad de agua y / o Aditivo líquido requerido para la preparación del pegamento cementicio debe ser el mismo para todas las pruebas. Las características adicionales para los productos de C2 (de rendimiento mejorado) también están contenidas en la Tabla 2.

Tabla 3 indica las especificaciones de las características especiales que pueden ser reportadas para los pegamentos cementicios. Norma ISO 13007-1 (2010).

Tabla 2*Especificaciones para pegamentos cementicios (C)*

Clasificación	Propiedad	Requisito	Método de ensayo ISO 13007-2:2010
C1-Pegamentos cementicios normales (Características fundamentales)	Resistencia a la tracción	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.2
	Resistencia a la adhesión por tracción después de la inmersión en agua.	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.3
	Resistencia a la tracción después del envejecimiento por calor.	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.4
	Tiempo abierto: Resistencia a la tracción	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ Después de 20 min.	4.1
C2-Pegamentos cementicios mejorados (características adicionales)	Resistencia a la tracción	$\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.2
	Resistencia a la adhesión por tracción después de la inmersión en agua.	$\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.3
	Resistencia a la tracción después del envejecimiento por calor	$\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.4

Tabla 3

Especificaciones para pegamentos cementicios (C) con características especiales

Característica especial	Propiedad	Requisito	Método de prueba ISO 13007-2: 2010
T - Resistencia al deslizamiento	Deslizamiento	$\leq 0,5$ mm	4.2
F - Pegamento de fraguado rápido	Resistencia a la tracción	$\geq 0,5$ N/mm ² después de no más de 6 horas.	4.4.4.2
	Tiempo abierto: resistencia a la tracción	$\geq 0,5$ N/mm ² después de no menos de 10 min.	4.1
	Todos los demás requisitos al menos iguales o mejores que los enumerados para pegamentos C1 como en la Tabla 2	Ver Tabla 2 debajo pegamentos C1	Ver Tabla 2 debajo pegamentos C1

S - Deformación transversal	Pegamento deformable -S1	$\geq 2,5 \text{ mm}$, $< 5 \text{ mm}$	4.5
	Pegamentos altamente deformables-S2	$\geq 5 \text{ mm}$	4.5
E - Tiempo abierto extendido	Tiempo abierto extendido: Fuerza de adherencia a la tracción	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ después de 30 min.	4.1
Pegamento de Adherencia externa del contrachapado (Substratos opcionales)	Adherencia exterior normal de la madera contrachapada del pegamento (P1)	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	4.4.4.2
	Adhesión mejorada para contrachapado de pegamento exterior (P2)	$\geq 1 \text{ N / mm}^2$	4.4.4.2

2.3 Prestaciones

2.3.1 Adherencia

Para categorizar los pegamentos, se considera como criterio principal su capacidad de adherencia a las baldosas. Por ende, es esencial entender el fenómeno de la adherencia.

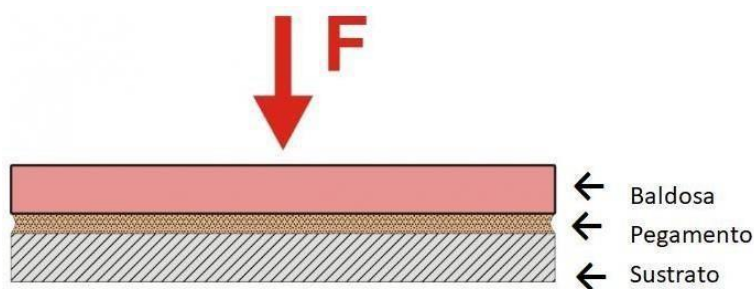
ANFAPA. (2008).

2.3.1.1 Concepto: La adherencia se refiere al grupo de fuerzas de conexión que se generan en la unión entre dos superficies, ya sean de misma o diferente naturaleza, cuando entran en contacto. ANFAPA. (2008).

La adhesión de los pegamentos para la instalación de baldosas es la capacidad que tiene el material de agarre para sujetar la pieza a un soporte específico, o también denominada fuerza máxima por unidad de superficie que se puede evaluar mediante la resistencia a la tracción o a la cizalladura. Se determina según UNE EN 1348. En términos prácticos, la adhesión se produce a través de la conjunción de dos conceptos de adhesión: mecánica y química.

Figura 1.

Gráfica de la representación de la adherencia



Nota: <https://anfapa.com/adhesivos-colocacion-ceramica/adherencia>

2.3.2 Adherencia mecánica y química

Adherencia mecánica: La adhesión mecánica se basa en el vínculo entre materiales sólidos. Usualmente, uno de los materiales se coloca en estado plástico sobre la superficie del otro, que debe proporcionar suficientes espacios para su anclaje.

Los materiales porosos suelen tener una superficie adecuada para promover la adhesión

mecánica, lo que en ciertos casos se puede facilitar con relieves o resaltes. El pegamento, al penetrar en los poros e intersticios del soporte y de la pieza, genera puntos de conexión que generan una adhesión entre estos. (ANFAPA, 2008).

Adherencia química: Es la unión química y/o electrostática entre componentes activos de los pegamentos y el soporte o pieza, que se efectúa a través del simple contacto entre ambas partes. En los pegamentos cementicios, siempre existe una adherencia mecánica y, dependiendo del tipo de pegamento (de las características que deseamos, de la aplicación) se añaden más o menos resinas que proporcionan adherencia química, fortaleciendo así la adherencia mecánica.

2.3.3 Tiempo abierto y Tiempo abierto extendido (E)

Tiempo abierto: Periodo de tiempo máximo después de la aplicación del adhesivo, en el que las baldosas pueden ser ubicadas acorde a la especificación de adhesión. Se establece de acuerdo con la norma (ISO 13007-1, 2010).

Tiempo abierto extendido (E): En determinadas condiciones como pueden ser exteriores, calor elevado, viento, etc. se hace necesario o recomendable para garantizar una adecuada colocación, tener un período de tiempo abierto superior del adhesivo. Esto se especifica en la norma ISO13007-1 (2010) como Tiempo Abierto Ampliado y se detalla con la letra E en la codificación del producto.

2.3.4 Fraguado rápido (F)

Cuando se requiere un uso inmediato de los revestimientos cerámicos, es imprescindible utilizar adhesivos que aseguren una adecuada instalación y, simultáneamente, aseguren una adecuada colocación. Los adhesivos que satisfacen estos criterios se etiquetan de acuerdo con la norma ISO 13007-1 (2010) como adhesivos de fraguado rápido con la letra F.

2.3.5 Deslizamiento reducido (T)

El deslizamiento es el desplazamiento descendente de una baldosa ubicada en una caja de adhesivo peinado sobre una superficie vertical, y se establece de acuerdo con la norma ISO13007-1 (2010). Cuando el deslizamiento es casi inexistente, de acuerdo con el

ensayo mencionado, el adhesivo se conoce como deslizamiento reducido y se identifica con la letra T, resultando útil en ciertos tipos de colocaciones, especialmente en superficies verticales o inclinadas.

2.3.6 Deformabilidad (S)

Se refiere a la capacidad de un pegamento endurecido para deformarse debido a las tensiones entre la baldosa y la superficie de instalación, sin una disminución notable de su adhesión. Como datos adicionales, los pegamentos unidos pueden tener la sigla S1 o S2 que señala que el pegamento posee esta propiedad de deformabilidad. Se mide por la deformación transversal, que es la que se observa en una capa de pegamento endurecido que ha sido sometida a carga en tres puntos distintos. De acuerdo con la norma (ISO13007-1, 2010).

2.4 Composición de los pegamentos para baldosas

Un pegamento para baldosas se compone del aglomerante, los áridos y los aditivos químicos.

2.4.1 Aglomerantes

El aglomerante o cemento hidráulico tiene la tarea de formar una unión sólida con el soporte (sustrato), la baldosa (adherencia) y la aglutinación de los áridos.

Se obtienen a partir de materiales naturales tratados térmicamente (horneados). Por ejemplo: cal, yeso, etc.

Los cementos hidráulicos conservan su resistencia debido a la reacción química con el agua de mezclado.

Esta reacción se conoce también como la hidratación del cemento. El aumento de la resistencia a la compresión depende de la calidad del cemento, su distribución granulométrica, la proporción de agua/cemento (a/c), la formulación del mortero y las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa), así como el tiempo transcurrido.

Para los adhesivos de colocación, se emplean principalmente tres clases de cemento hidráulico: el cemento Pórtland (PC), el cemento puzolánico Pórtland (PPC) y el cemento con gran cantidad de alúmina (HAC). (UNE 83200 ,1984)

El Cemento Portland (PC) se elabora al tratar térmicamente la piedra caliza con la arcilla a 1450 °C en un horno. Es el aglomerante de primera elección para los pegamentos. La duración del fraguado del PC es bastante prolongada, la alcalinidad es constante y el porcentaje de hidróxido de calcio libre es considerablemente elevado. Por lo tanto, los pegamentos de colocación utilizando el PC no pueden utilizarse para las piedras naturales sensibles, puesto que el agua libre podría transportar impurezas solubles dentro de los poros de las piedras naturales por difusión. Se pueden producir manchas no eliminables. El cemento puzolánico Pórtland (PPC), es una mezcla del PC (94 %) junto con las puzolanas (6 %). Las puzolanas están presentes en la superficie del planeta, como en las tierras diatomáceas y en las cenizas de los volcanes. Las cenizas volantes y el humo de sílice son los componentes artificiales de la puzolana. La ventaja del PPC es su contenido de sílice libre soluble al agua que neutraliza el hidróxido de calcio que aparece durante la hidratación del cemento Pórtland. Los cementos puzolánicos Pórtland son parte integral de los morteros de mezcla seca utilizados para la colocación de las piedras naturales, puesto que el riesgo de las eflorescencias se reduce y el contenido de alcalinidad es bastante bajo. Sin embargo, su desventaja es el tiempo de fraguado más largo en los pegamentos. El cemento de alto contenido de alúmina (HAC), conjuntamente con el PC, acelera no solamente el fraguado y el endurecimiento de los pegamentos de colocación, sino mejora también las características de retracción de los morteros.

Estos recubrimientos se pueden someter a la carga máxima ya al cabo de unas pocas horas después de la colocación. (Felixberger, J. K. 2008).

El cemento Portland blanco, que se asemeja en todos los aspectos al cemento Portland gris convencional, a excepción de su elevado nivel de blancura. El tono pálido del cemento Portland común proviene de las impurezas presentes en los óxidos de hierro, cromo y manganeso. En el cemento Portland blanco, la proporción de Cr_2O_3 se reduce a 30 partes por millón (ppm), Mn_2O_3 a 300 ppm como máximo, y Fe_2O_3 por debajo de 0,35 % en el Clinker--. El cemento Portland blanco se utiliza en los pegamentos de colocación para las piedras naturales. (Raynaud L. & Amathieu L ,2014)

2.4.2 Áridos

Los áridos funcionan como refuerzo y elemento estructural para proporcionar resistencia al mortero de colocación. Ofrecen densidad de empaquetamiento, resistencia frente a la flexión y durabilidad. El árido puede originarse a partir de cuarzo, roca caliza y sílice. Generalmente, la arena silícea (cuarzo) utilizada para los adhesivos de colocación en capa delgada presenta una distribución granulométrica en el intervalo de 0,05 a 0,5 mm. Los áridos que están permitidos son aquellos que no posean sulfuros oxidables, silicatos inestables o elementos de hierro inestables. (Chipana Montecinos, L.L., & Luna Maydana, C. 2018).

2.4.3 Aditivos químicos

Durante la elaboración del pegamento, generalmente suele incorporarse unas sustancias que en proporciones no superan el 1%. Solamente los polímeros redispersables se aditivan en mayores concentraciones, estos producen una modificación en el pegamento, tanto en su forma plástico como endurecida, de alguna de sus características o de su comportamiento, mejorando sus cualidades. (UNE 83200 ,1984)

Si se emplean diversos aditivos, es imprescindible que sean compatibles entre ellos. Entre los aditivos químicos que podemos mencionar se encuentran:

2.4.3.1 Aceleradores

Frecuentemente, se emplean aceleradores en aplicaciones llevadas a cabo en periodos fríos para aumentar la rapidez de fraguado y/o la resistencia inicial de los adhesivos de colocación. Los aceleradores comercialmente disponibles incluyen el cloruro de calcio, formiato de calcio o carbonato de litio. Una dosificación habitual para incorporar estos aditivos es cerca del 0,5 %.

2.4.3.2 Antiespumantes

El objetivo principal de los antiespumantes secos en polvo es disminuir el flujo de aire al combinar rápidamente la mezcla seca en polvo con el agua de mezcla. Los glicoles de polialquileno o los polisiloxanos, al ser colocados en un portador de sílice, muestran un buen desempeño. (Felixberger, J. K. ,2008).

Figura 2.
Glicol de Polialqueno

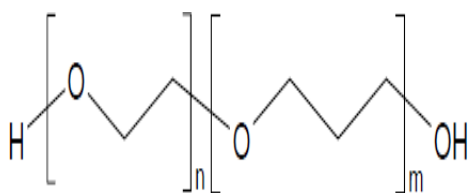
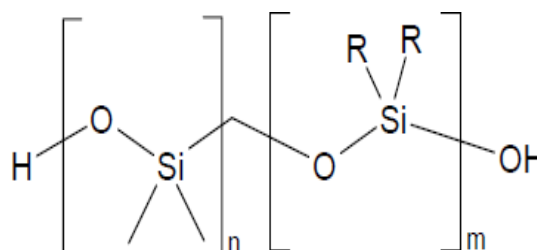


Figura 3.
Polisiloxano



Nota: Tomado de (Felixberger, J. K. ,2008).

2.4.3.3 Retardantes

Los retardantes se utilizan principalmente para permitir la colocación en climas cálidos. Retardan la velocidad de hidratación del cemento y prolongan el tiempo abierto del pegamento. Las sales sódicas de los ácidos de la fruta (ácidos α -hidroxi-carboxílicos), como el ácido cítrico o el ácido tartárico, son retardantes altamente activos.

El contenido habitual de los retardantes no es más de 0,25 %. Felixberger, J. K. (2008).

Figura 4.
Ácido cítrico

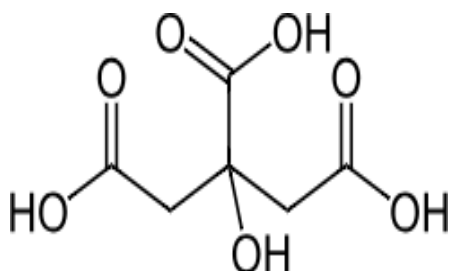
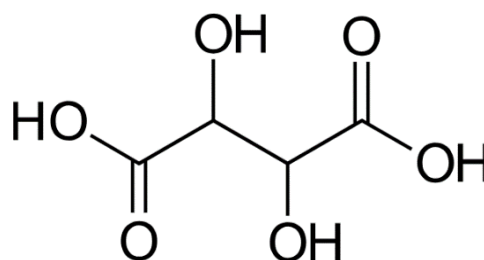


Figura 5.
Ácido tartárico



Nota: Tomado de (Felixberger, J. K. ,2008).

2.4.3.4 Polímeros Redispersables

A comienzos de la década de 1980, se introdujeron en el mercado la segunda generación de pegamentos, conocidos como pegamentos flexibles modificados con polímeros.

Realizaron la instalación segura de porcelanatos en sistemas de suelo radiante, terrazas, y balcones. Incluso los porcelanatos totalmente vitrificados y los porcelanatos de vidrio se podían ubicar sin dificultades, gracias a la excelente adhesión del mortero elastificado al dorso de la baldosa. El polímero elastificado redispersable, creado por Wacker Chemie en 1953, fue el elemento crucial para este avance cuántico en la tecnología de colocación en capa delgada.

Los materiales redispersables son polímeros orgánicos obtenidos mediante la atomización. La fabricación de dispersiones de látex se realiza mediante la polimerización de la emulsión. La emulsión inicial se compone de monómeros que no se solubilizan en agua, como por ejemplo el acetato de vinilo, versatato de vinilo, etileno, estireno, ésteres ácidos metacrílicos, etc. y un tensioactivo (emulgador) en una fase continua de agua.

Los coloides protectores, también conocidos como coloides solubles en agua, como el alcohol de polivinilo o los éteres de celulosa, se aditivan para estabilizar las micelas de la emulsión.

El proceso de polimerización comienza con la incorporación de persulfatos o peróxidos (iniciadores) a la emulsión. Al concluir el procedimiento de polimerización, se logra una dispersión polimérica transparente que alberga entre un 40% y un 70% de partículas de látex, con un diámetro de 0,1 a 20 μm . Las redes que tienen un tamaño de partícula que supera los 1 μm exhiben un aspecto blanco y transparente. Las partículas de látex ubicadas entre 0,1 y 1 μm producen emulsiones de color azul o parduzca. (Ohama Y., 1995).

A continuación, la emulsión se atomiza para conseguir el polvo polimérico. Para lograrlo, la emulsión de látex se atomiza en pequeñas gotas mediante una boquilla en la torre de atomización. Simultáneamente, se extrae el agua de las gotas de la emulsión a través del soplado de aire caliente en la torre de atomización. Simultáneamente, se extrae el agua de las gotas de la emulsión a través del soplado de aire caliente en la torre de atomización. Durante el proceso de secado por atomización, se añade un agente antiaglomerante (como la sílice fume, CaCO_3) para prevenir 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 μm se dispersan en las partículas primarias de látex de la emulsión (0,1 a 20 μm) cuando la mezcla se agita con agua.

Las áreas poliméricas que actúan como aglomerante orgánico en la matriz del pegamento se forman tras la evaporación del agua del mortero, a través de la coalescencia de las partículas únicas del látex. (ANFAPA ,2008).

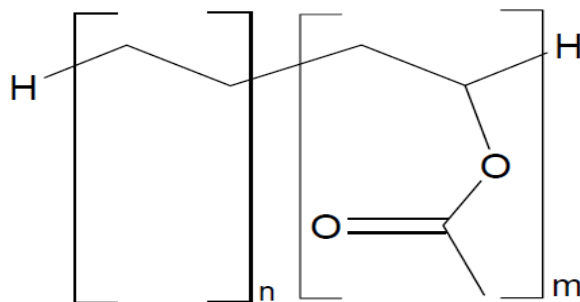
Las regiones poliméricas proporcionan una mejor adherencia en la interfase del mortero/sustrato y del mortero/baldosa. Las principales ventajas de los polvos poliméricos redispersables en pegamentos son:

- El mejor anclaje del pegamento con el sustrato 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, pegamento, porcelanato.
- Las características reológicas optimizadas facilitan un mezclado más sencillo, una procesabilidad más suave y una adecuada humectación de los porcelanatos.

Las emulsiones poliméricas utilizadas típicamente para los pegamentos de colocación son los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA), su estructura química se muestra en la figura 6, también hay otros copolímeros 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 %.

Figura 6.

Polímero de etileno y acetato de vinilo (EVA)



Nota: Tomado de (Felixberger, J. K. ,2008).

2.4.3.5 Retenedores de agua

Los morteros secos los utilizan como espesantes y retenedores de agua, también conocidos como éter de celulosa. Los éteres de celulosa desempeñan un papel crucial como aditivos, aunque su porcentaje de adición es muy reducido (usualmente entre 0,2 y 0,7%). Dentro de todos los aditivos, los éteres de celulosa en combinación con los polvos redispersables son los causantes del más amplio rango de efectos sobre los morteros secos. (Brandt L., 1986)

Los principales factores que afectan en los pegamentos son:

- **Retención de agua**

Reduce sustancialmente la pérdida de agua cuando se aplica a materiales absorbentes de agua, especialmente en ambientes de alta temperatura, prolonga efectivamente el tiempo abierto.

- **Resistencia antiﬂacidez**

Aumenta la tixotropía del producto y evita el descuelgue a diversos sustratos. Proporciona pegamentos con mejores propiedades de deslizamiento.

- **Efectos espesantes**

Aumenta la viscosidad del producto y mejora la estabilidad de la suspensión. En aplicaciones de edificación, su uso como espesante evita la separación y potencia la adhesión de los elementos de la formulación. (Barnes H., 2000).

- **Solubilidad del agua**

Se disuelve fácilmente en agua fría.

2.4.3.6 Mecanismo de Acción del HPMC en el pegamento

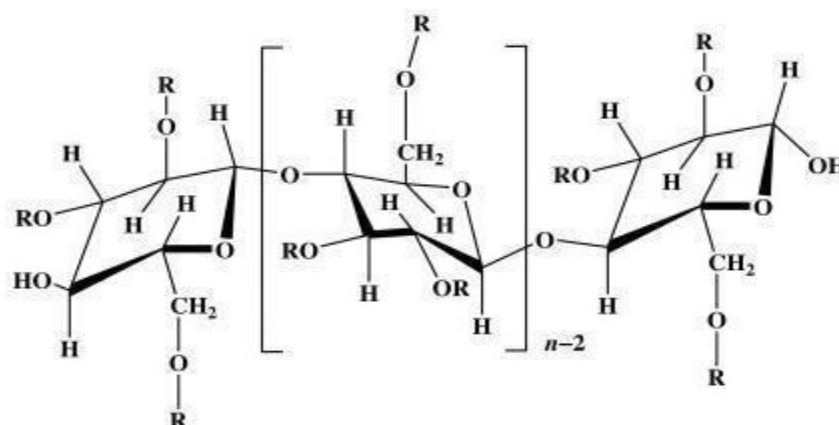
La acción de la Hidroxipropilmetil celulosa se deriva de su singular estructura molecular. HPMC es una sustancia derivada de la celulosa que incorpora grupos hidroxipropilo y metilos hidrófilos en la espina dorsal de dicha celulosa. Cuando HPMC se incorpora a una mezcla, se dispersa en agua para generar una solución coloidal. Los grupos hidroxipropilos presentes en el HPMC facilitan su interacción con moléculas de agua, creando una barrera de hidratación protectora alrededor de las cadenas poliméricas. Esta capa de hidratación evita la aglutinación de las partículas de HPMC, asegurando así su dispersión.

Cuando se aplica la formulación a un sustrato, el agua se evapora y el HPMC genera una película uniforme en la superficie. Esta película otorga adhesión, cohesión y una mejor trabajabilidad al material de construcción.

La característica espesa del HPMC se debe a sus extensas y versátiles cadenas poliméricas, las cuales se entrelazan e interactúan con otras partículas de la fórmula, provocando un incremento en la viscosidad. Su estructura química se muestra en la figura 7. (Felixberger, J. K. ,2008).

Figura 7.

Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)



Nota: Tomado de <https://www.saintytec.com/hpmc-capsule/>

2.5 Formulaciones típicas para pegamentos cementicios

En la bibliografía o en Internet, se pueden encontrar las formulaciones típicas de los pegamentos para baldosas estándar (Clase C1 según la norma ISO13007-1) y los pegamentos para baldosas flexibles (clase C2). Mientras que los pegamentos para baldosas de la clase C1 no pueden utilizarse para las baldosas porcelánicas y para las superficies expuestas a esfuerzos térmicos superiores (balcones, terrazas, suelo radiante), los pegamentos de la clase C2 pueden utilizarse para todos los formatos de baldosas, materiales de recubrimiento y sustratos. La diferencia más importante entre los pegamentos de la clase C2 y los de la clase C1 es la proporción más alta de polvo polimérico redispersable. (Chipana Montecinos, L. L., & Luna Maydana, C. F. ,2018).

De este modo, la adherencia física mediante el anclaje en la superficie de la baldosa y en el sustrato es asistida por medio de la adherencia de la película polimérica.

Obviamente, estas formulaciones constituyen únicamente una orientación aproximada, ya que el tipo de componente, la dosificación exacta y las especificaciones de las materias primas son la propiedad intelectual clave de los fabricantes.

Tabla 4:

Formulaciones para los pegamentos de baldosas estándar y flexibles

Componente	Funciones principales	Especificación	Dosificación %	
			Clase C1	Clase C2
Cemento Pórtland	Aglomerante	CEM 1 42,5R/52,5R	30-50	30-40
Arena	Carga matriz de mortero	0,1-0,5mm	45-70	45-60
Carbonato de calcio	Carga	30-60 um	5-10	5-10
Polímero Redispersable	Flexibilidad, adherencia	diverso	0-2	2-6
Retenedor de Agua	Mejora tiempo abierto	> 40000 cP	0,2-0,5	0,2-0,5
Formiato de Calcio	Acelerante	< 0,4mm tamizado	<1	<1

Nota: Tomado de Felixberger, J. K. (2008)

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Parte Experimental

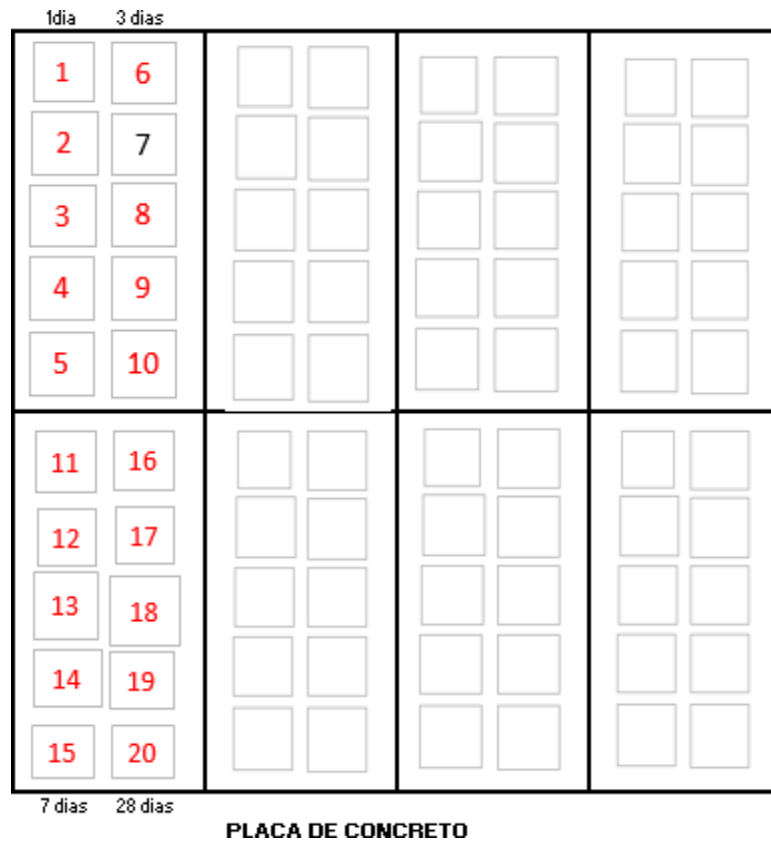
Este estudio es de naturaleza experimental, cualitativa y cuantitativa, ya que nuestras investigaciones se llevarán a cabo a través de la observación y el análisis de datos. Consistirá en determinar las dosis óptimas de los polímeros en estudio para así lograr mejores resultados de resistencia a la tracción y resistencia a la compresión de cada muestra de pegamento utilizando un dinamómetro de medición de resistencia a la adherencia de marca Proceq Z 216 y la prensa hidráulica de marca Forney.

También se comparará de manera cualitativa la trabajabilidad, el tiempo abierto, en las distintas dosificaciones mencionadas anteriormente.

3.2 Muestra

Para las pruebas se realizaron 4 ensayos para la evaluación del éter de celulosa y 5 ensayos para la evaluación del polímero redispersable RDP con dosificaciones de agua al 24% para un tiempo de 1 día, 3 días, 7 días y 28 días donde se evaluó la resistencia a la tracción y resistencia a la compresión

Gráfica de distribución de muestras en la placa de concreto



Elaboración propia

Para la realización de este estudio, se utilizaron placas de baldosas de cerámica de (50+1) mm x (50+1) mm, tal como se especifica en la norma ISO 13007-2 Métodos de Ensayo para adhesivos de baldosas.

Se utilizó 4 kg de pegamento para cada muestra.

3.3 Lugar de estudio

Este estudio se realizó en las dependencias del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa GMP Técnica que consta de la elaboración del pegamento, pegado de las baldosas. La evaluación de la resistencia del adhesivo elaborado, por medio del dinamómetro probador de adherencia Proceq Z 216 y la resistencia a la compresión por medio de la Prensa Hidráulica Forney.

3.4 Materias Primas

Para el desarrollo de este trabajo se realizó la elaboración del pegamento a base de los siguientes insumos.

- Áridos con tamaño de partícula entre 0,063 -0,5 milímetros
- Cemento blanco portland tipo I
- Hidroxipropil metil celulosa

Tabla 5

Datos técnicos del HPMC M1

HPMC M1	
Apariencia	Polvo blanquecino
Tamaño de partícula	98 % $\leq$ 600 μ m
pH solución al 1%	7,0
Contenido de Agua	$\leq$ 5 %
Viscosidad Brookfield a T :20°C solución al 2%	100000 cP

Nota: Tomado de (Silva.D.A.,2005)

- Etileno y Acetato de Vinilo

Tabla 6

Datos técnicos del EVA

EVA	
Contenido de humedad	<6%
Contenido de cenizas	13-15%
Densidad (g/l)	400-600
pH	4--8
Temperatura mínima de formación de película	5°C

Nota: Tomado de (Silva.D.A.,2005)

3.5 Materiales

Para el desarrollo del trabajo se usaron los siguientes materiales:

- Recipientes de metal
- Espátulas
- Pesa de 2 kg y 5 kg
- Llana dentada 6x6 mm
- Pegamento epóxico
- Placa metálica de 5x5 cm
- Vaso precipitado 200 mL
- Cronómetro
- Vernier
- Baldosas de porcelanato de 5 x 5 cm
- Mezclador Hobart
- Moldes de Bronce y apisonador

3.6 Placa de Concreto

Para realizar el pegado de las muestras de baldosas de porcelánicas, se construyeron 02 placas de hormigón de 1m x 1m y 1m x 1,2 m, con un espesor cercano a 35 mm, y un tiempo mínimo de secado de 28 días, conforme a lo estipulado en la norma ISO 13007- 2 Métodos de ensayo de adhesivos para baldosas.

3.7 Equipos

3.7.1 Dinamómetro Proceq DY - 216

Se utilizó el dinamómetro Proceq DY-216, el cual permitió realizar la lectura de resistencia (en MPa), de cada baldosa adherida en la placa de concreto mencionado anteriormente.

Para el desarrollo de los ensayos de resistencia a la tracción en las muestras de pegamento, La máquina debe ser capaz de aplicar la carga a la placa de tracción de cabeza a una velocidad de 250 ± 50 N/s a través de un accesorio adecuado que no ejerce ninguna fuerza de flexión.

Se utilizó un Dinamómetro Proceq DY-216 (Figura 9), debidamente calibrado, que permitió realizar la lectura de resistencia (en MPa), en cada pieza de porcelanato adherida en la losa en la cual se solicitó realizar las pruebas con las piezas de porcelanato de 5cm x 5cm.

Figura 9.

Dinamómetro Proceq DY – 216



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

3.7.2 Balanza digital Mettler Toledo

Figura10.

Balanza Digital Mettler Toledo (RD-9001)



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

3.7.3 Prensa Hidráulica

Máquina de compresión de la serie Forney 325 con controles manuales y marco estándar (F) capacidad de 6000 V, capacidad de carga es de 325000 Libras. Los tipos de ensayo que realiza el equipo son: compresión, flexión y rotura por tracción de los materiales de ensayo: cilindros, cubos, vigas, bloques de mampostería, etc.

Figura11.

Prensa Hidráulica (Serie Forney 325)



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

3.7.4 Viscosímetro DV2T Brookfield

Para la determinación de la viscosidad de las diferentes muestras de éter de celulosa que será utilizado en el pegamento para porcelanato, se usará un viscosímetro rotacional de marca DV2T Brookfield evaluando la viscosidad de cada muestra considerada potencialmente como óptima Ver figura 12.

Figura12.

Viscosímetro DV2T Brookfield



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

3.8 Procedimiento Experimental

3.8.1 Determinación de la solución espesante al 2% del Éter de Celulosa (HPMC)

Para la determinación de la solución espesante al 2% del éter de celulosa (HPMC), se utilizó 2 gramos de Éter de celulosa con 98 gramos de agua, para homogeneizar la mezcla se utilizó un dispersor a 8 RPM.

Sé toma la viscosidad a una temperatura de 25°C, aguja N°7 (es utilizado para medir viscosidades >60000 cP) y 10 RPM.

3.8.2 Determinación de la Adherencia a la tracción.

a. Se preparó 4 kg de muestra de pegamento para porcelanatos, tomando los siguientes parámetros:

- Porcentaje del polímero redispersable (EVA): 1- 1,5- 2,0- 2,5 y 3
- Porcentaje del polímero (HPMC): 0,2- 0,3 - 0,4 y 0,5
- Dosificación de agua: 24%
- Tiempo de acondicionamiento de la muestra: 1 día, 3 días, 7 días y 28 días.

Figura 13.

Pesaje de muestras



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

b. Con una cantidad mínima de 1 kg del pegamento y una dosis de agua de 240 mL, se prepara el pegamento en un mezclador del tipo planetario usando los ajustes de velocidad lenta 140 ± 5 r/min y 62 ± 5 r/min.

Se siguen los siguientes pasos:

- Verter el líquido en el recipiente,
- Dispersar el polvo seco sobre el líquido,
- Mezclar durante 30 s,
- Sacar la paleta del mezclador,
- Raspar la paleta y bandeja dentro de 1 min,
- Reponer la paleta y mezclar durante 1 min

b. Aplicar una capa delgada del pegamento a la losa de concreto con una llana de borde recto. A continuación, aplicar una capa más gruesa y peinar con una llana dentada que tiene medidas de las muescas 6 mm x 6 mm.

La llana deberá ser llevada a cabo en un ángulo de aproximadamente 60 ° con respecto al sustrato en un ángulo recto a uno de los bordes de la losa y trazada a través de la losa paralelo al borde (en línea recta).

Después de 5 min se colocó 10 porcelanatos de 5 cm x 5 cm y se cargó cada porcelanato con una pesa de 2 kg durante 30 s.

Figura14.

Aplicación del pegamento



Figura15.

Colocación de los porcelanatos



Figura 16.

Colocación de la pesa de 2 Kilos



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

Figura 17.

Porcelanatos colocados en el sustrato



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

c. Se enlazó las placas del cabezal de extracción a las baldosas con una alta fuerza adhesiva (por ejemplo, pasta epóxica), se unió las placas de tracción del cabezal por un mínimo de 2 horas antes de la determinación de la fuerza de adhesión a la tracción, finalmente se determinó la fuerza de adhesión a la tracción del pegamento mediante la aplicación de una fuerza a una velocidad constante de $250 \pm 50 \text{ N / s}$, con el medidor de adherencia Proceq DY-216.

Figura 18.

Extracción de los porcelanatos



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

3.8.3 Determinación de la Resistencia a la compresión

a. Con una cantidad mínima de 3 kg del pegamento y una dosis de agua de 720 mL, se prepara el pegamento en un mezclador del tipo planetario usando los ajustes de velocidad lenta 140 ± 5 r/min y 62 ± 5 r/min.

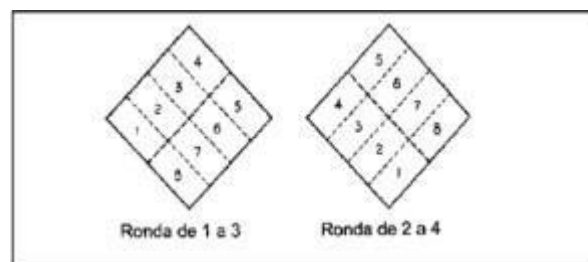
b. Al llenar los moldes no deben haber pasados de los 150 s, cronometrados desde que se culmina la pasta principal del mortero. Para prueba de compresión debe tenerse 4 moldes. Por molde se añade una capa de la mezcla de mortero de 25 mm y se compacta con 32 golpes en el tiempo de 10 s. Esta compactación se aplica sobre la primera, en 4 capas de 8 golpes adyacentes cada una.

Las compactaciones de estos procesos se dan siguiendo una dirección recta a la anterior. La presión que se le practica al compactador debe ser aquella que avale el llenado igualitario de los moldes.

c. Se tienen que terminar las 4 fases de compactación en cada molde, antes de continuar todos los moldes, se añade la capa 2 que sobre sale y se compacta como se realizó con la primera.

d. Al concluir el último apisonamiento, los lados de arriba de los moldes deben quedar sobre saliendo un poco. La parte superior de los cubos debe quedar lisa y se utiliza una espátula plana. La mezcla que sobra de la cara preeminente del molde se quita con la espátula a este proceso se le llama enrasado.

Figura 19.
Orden de apisonado de los moldes de pegamento



Nota: ASTM C-109 (2020)

e. Al día siguiente se desencofró los 4 moldes y se rotuló para las lecturas de las diferentes edades 1 día, 3 días, 7 días, 28 días, estos cubos se colocaron en un cuarto de curado, hasta la fecha de rotura, utilizando la prensa Hidráulica Forney 325.

Figura 20.
Moldes de Pegamento



Figura 21
Cuarto de Curado



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

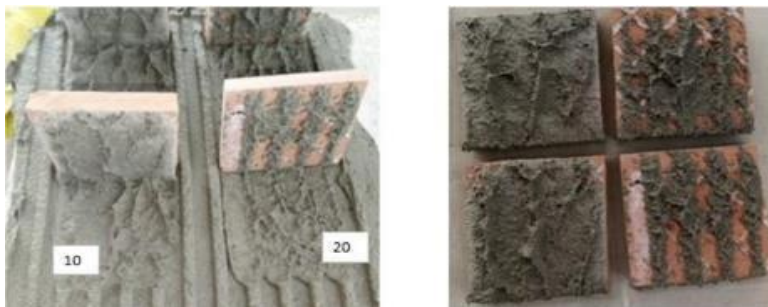
3.8.4 Determinación del Tiempo Abierto.

El tiempo abierto se determinó siguiendo el siguiente procedimiento:

Sé aplicó una capa delgada del pegamento a la losa de concreto con una llana de borde recto. Luego se aplicó una capa más gruesa y se peinó con una llana dentada que tenga muescas de 6 mm × 6 mm en los centros de 12 mm. La llana se mantuvo en un ángulo de aproximadamente 60 ° con respecto al sustrato y en ángulo recto con el borde de la losa.

Después de 0 min, 10 min, 20 min, 30 min o más, se colocó al menos 10 baldosas de prueba en el pegamento separadas 50 mm. Las baldosas se colocan en no más de cuatro cordones para todos los pegamentos. Sé cargó cada baldosa con $20 \pm 0,05$ N durante 30 s. Luego de 1 hora se abrió las baldosas con ayuda de una espátula y se observó que estas están completamente manchadas con el pegamento hasta un 50% de la baldosa, ese sería el tiempo abierto del pegamento.

Figura 22.
Prueba de Tiempo Abierto a los pegamentos



Nota: Tomado de Mathiensem.

3.8.5 Determinación del Deslizamiento

El deslizamiento se determinó siguiendo el siguiente procedimiento:

- a. Se aplicó una capa delgada de pegamento a la losa de concreto con una llana de borde recto. Luego se aplicó una capa más gruesa de pegamento a la superficie del sustrato de concreto para que se solape con el borde inferior de la cinta adhesiva.
- b. Se colocó el pegamento en ángulo recto con el borde recto usando una llana dentada que tenga muescas de 6 mm × 6 mm en los centros de 12 mm.
- c. Se sostuvo la llana en un ángulo de 60 ° con respecto al sustrato y paralela al borde recto.
- d. Se retiró inmediatamente la cinta de enmascarar y colocó espaciadores de 25mm (o la barra espaciadora) contra el borde recto. Después de 2 minutos se colocó una baldosa y una carga con un peso de $50 \pm 0,1$ N por 30 ± 5 s.
- e. Se retiró los separadores y se midió el espacio entre el borde recto y la baldosa con el calibrador Vernier hasta $\pm 0,1$ mm. Inmediatamente y con cuidado, se levantó la losa en posición vertical. Después de 20 ± 2 min, se vuelve a medir el espacio, como antes, en su punto máximo. El deslizamiento máximo de la baldosa bajo su propio peso es la diferencia entre las dos lecturas.

Figura 23.

Prueba del Deslizamiento a los pegamentos



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados

Se evaluó las viscosidades de los diferentes éteres de celulosa para ello se preparó las soluciones espesantes al 2 % de las 5 muestras.

Las viscosidades se midieron a una temperatura de 25°C, aguja N°7, y 10 RPM usando el equipo Viscosímetro DV2T Brookfield.

Tabla 7:

Viscosidad de la Solución espesante al 2% de los éteres de Celulosa

ÉTER DE CELULOSA	
AGUJA 7/10RPM	SOLUCIÓN ESPESANTE AL 2%
VISCOSIDAD-BROOKFIELD	VISCOSIDAD (cP)
HPMC M1	106000
HPMC M2	63200
HPMC M3	112000
HPMC M4	86000
HPMC M5	120000

Luego de obtener los resultados de las viscosidades quedaron descartadas las muestras HPMC M2 y HPMC M4, debido a que la viscosidad para un pegamento en fórmula debe estar en un rango de 90000 -110000 cP, estas muestras eran muy bajas de viscosidad y en la fórmula del pegamento éstas eran pastas muy sueltas, poco trabajables.

La muestra HPMC M3 y HPMC M5 se descartaron ya que al tener mayor viscosidad formaron pastas muy espesas la cual también son poco trabajables.

Se eligió la muestra éter de celulosa HPMC M1 que obtuvo una viscosidad de 106000 cP. Sabemos que el éter de celulosa es un aditivo importante en el mortero de mezcla seca, por ello antes de utilizarla en formulación de pegamento se realizan las soluciones espesantes al 2% así al obtener sus viscosidades con este dato podemos hacernos la idea de cómo será su consistencia, el rendimiento de trabajo, las propiedades de unión y las propiedades de retención de agua del mortero, que es un papel muy importante en el campo del mortero de mezcla seca.

Se preparó los pegamentos a diferentes dosis de concentración de agua 22 %, 23 %, 24 %, 25 % y 26 % con el éter de celulosa HPMC M1 al 0,30 % para de esa manera poder optimizar la cantidad de agua a utilizar.

En la figura 24 podemos observar que la mayor adherencia a la tracción a 28 días es cuando el pegamento tiene una dosis de agua al 24 %.

Encontrar el porcentaje de dosis de agua en el pegamento es un indicador muy importante para medir la calidad del éter de celulosa.

El éter de celulosa HPMC M1 tiene sus grupos metoxi e hidroxipropoxi que están distribuidos uniformemente a lo largo de la cadena molecular de la celulosa, lo que puede mejorar la capacidad de los átomos de oxígeno en los enlaces hidroxilo y éter para asociarse con el agua para formar enlace de hidrógeno. (De Oliveira, J. 2006). De modo que se controle así la evaporación del agua, logrando una retención alta de agua.

En la figura 25 se observa que la mayor resistencia a la compresión a 28 días es en la dosis de agua de 24 %.

De esa manera podemos comprobar que en esa dosis se mejora la retención de agua del pegamento puede prevenir eficazmente el secado por pérdida de agua demasiado rápida y los fenómenos de disminución de la resistencia y agrietamiento como resultado de la hidratación insuficiente del cemento.

Figura 24.

Efecto del porcentaje de Agua en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento C2

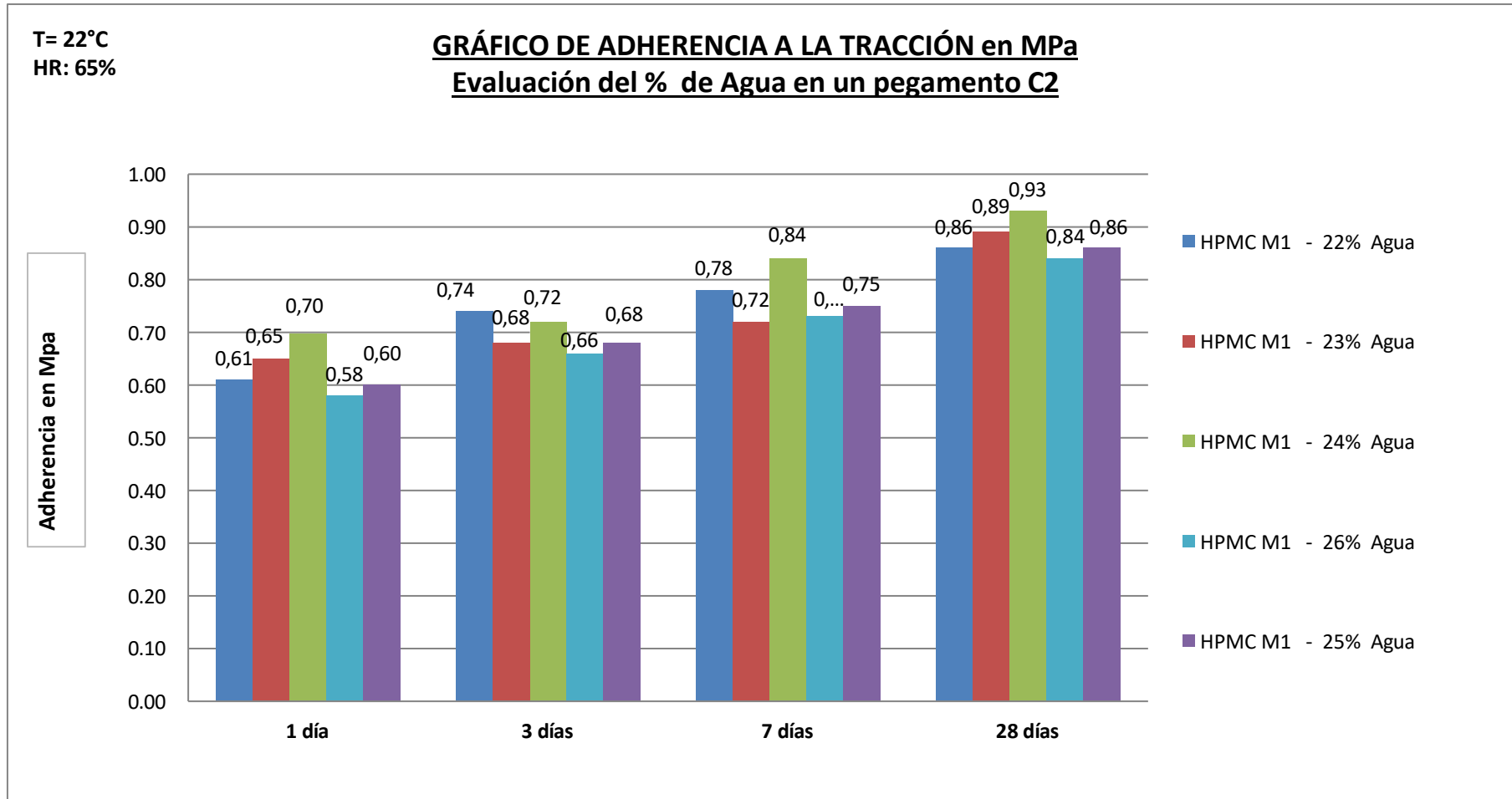
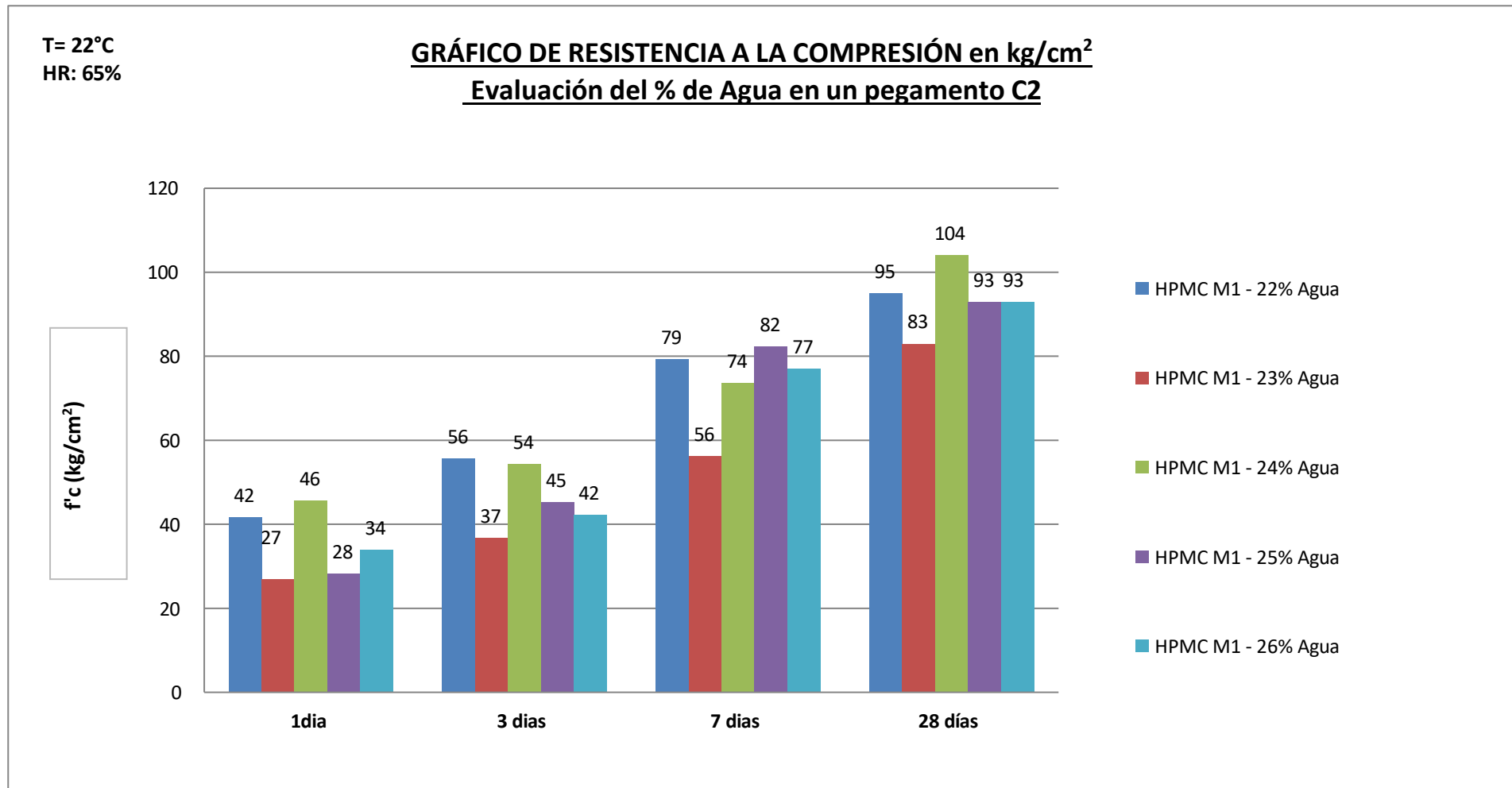


Figura 25.

Efecto del porcentaje de Agua en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2



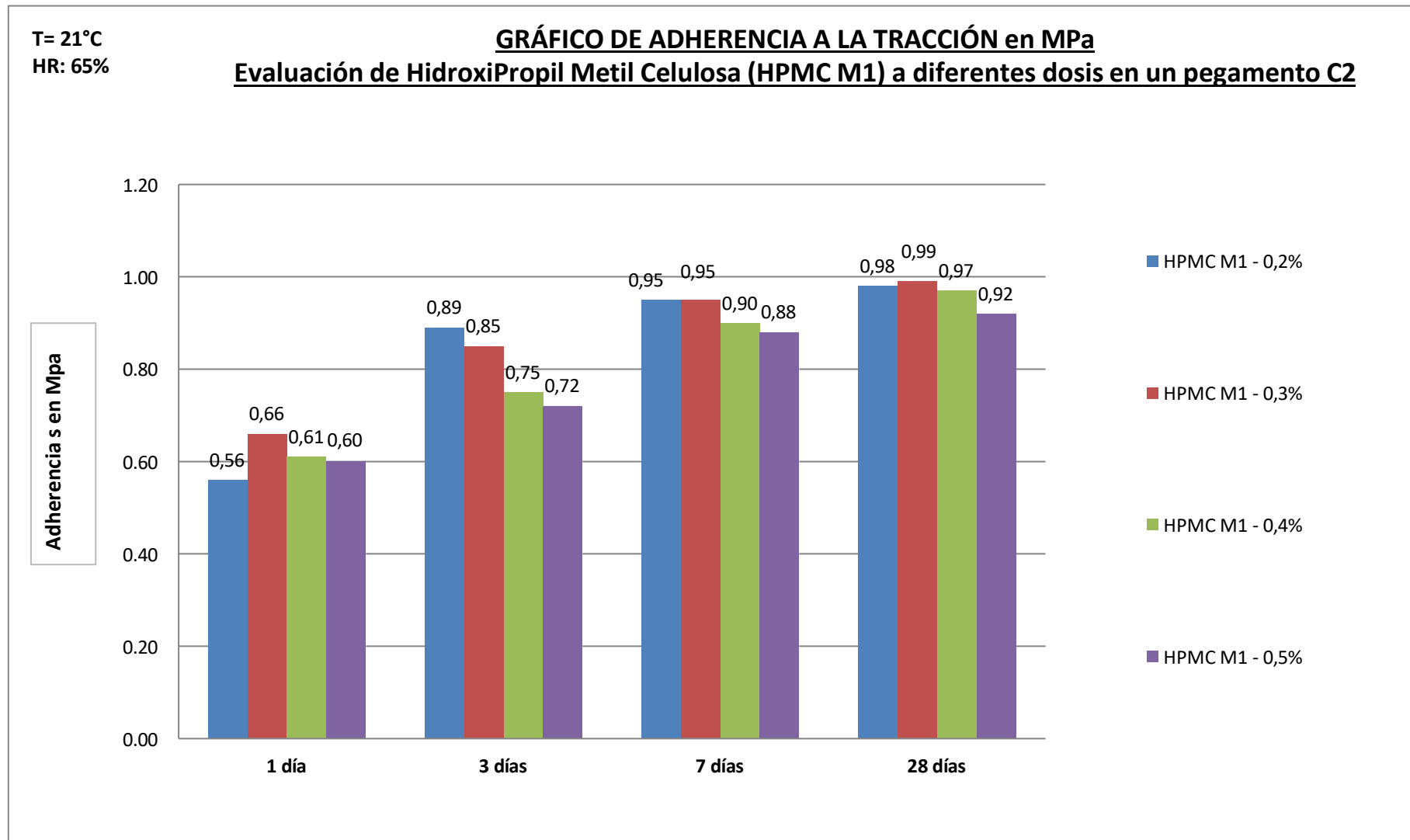
En la Figura 26 se muestra la influencia que tiene el éter de celulosa HPMC M1 en la mejora de la adherencia de un pegamento. Se aprecia que la capacidad de adherencia más alta se ha obtenido para los pegamentos modificados con HPMC M1 al 0,3 %, tiene una adherencia a la atracción de 0,99 MPa a la edad de 28 días. Según la norma 13007-1 para un pegamento cementicio C2 debe cumplir 1,0 MPa de adherencia a la tracción a la edad de 28 días. (ISO 13007-1 ,2010)

El HPMC M1 modifica los poros capilares de la matriz cementosa, facilitando la penetración del agua en la parte superior. En realidad, el éter celulósico incrementa el número de poros capilares en las pastas de cemento. (Black, J., & Kohser, R.,2012)

No obstante, no se puede descartar la posibilidad de que HPMC M1 interactúe físicamente con agua. Es posible que ocurra debido a la característica hidrófila de los éteres celulósicos, que se adsorben al agua y se expanden, generando un hidrogel o incluso una disolución, dependiendo de las características del agua, del polímero y del tiempo transcurrido. Creemos que este hidrogel probablemente se generaría en los poros de la matriz cementosa de los morteros que contienen HPMC M1 influyendo en la mejora de adherencia a esa dosis.

Figura 26.

Efecto del porcentaje de HPMC M1 en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento C2.



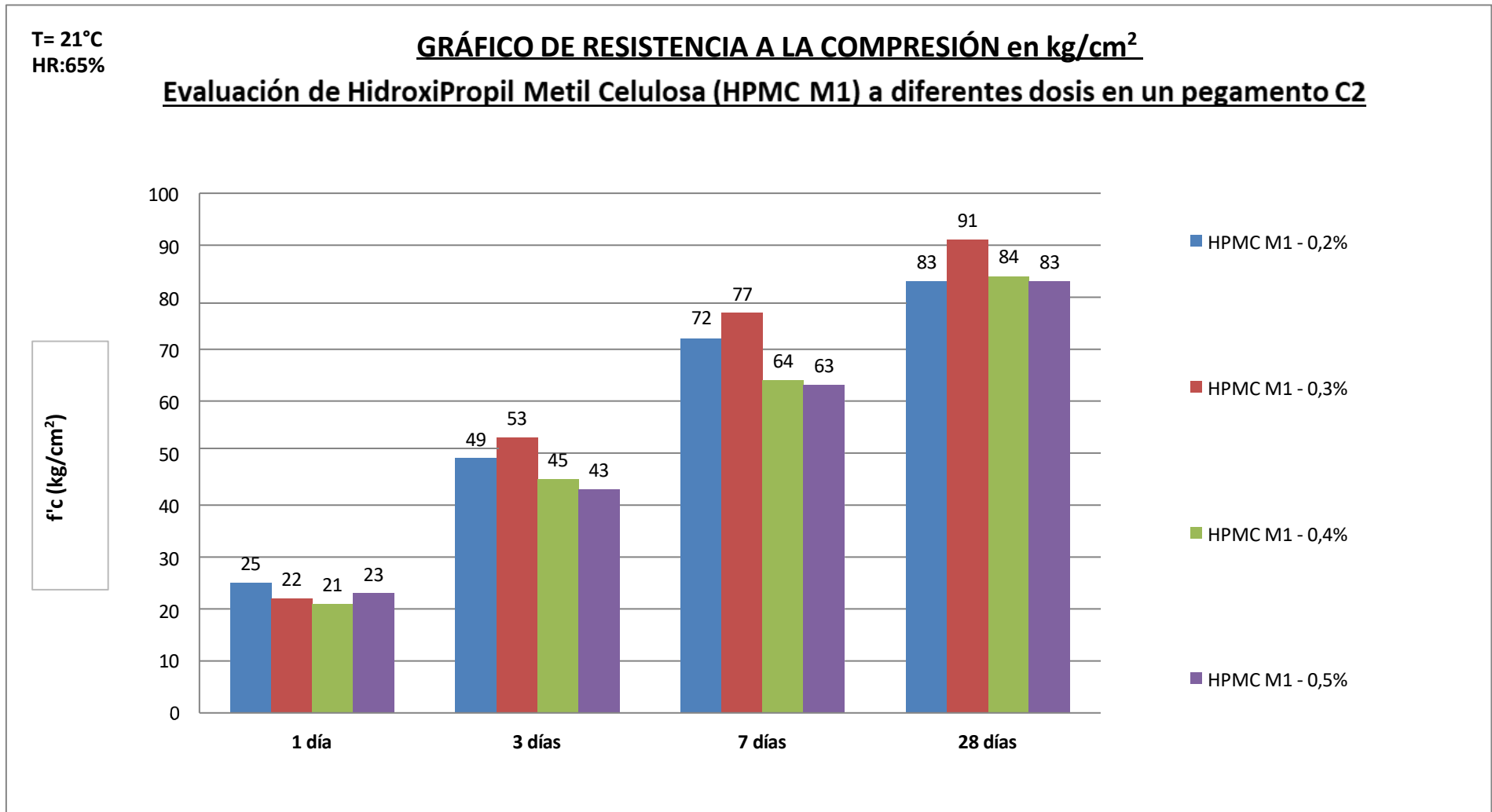
En la figura 27 se muestra la influencia del HPMC en la resistencia a la compresión del pegamento cementicio C2 a diferentes edades, a pesar que la norma ISO 13007-1 no lo exige como dato técnico, se espera que el pegamento tenga como mínimo una resistencia a la compresión de 75 kg/cm^2 .

El pegamento que contiene el éter de celulosa HPMC M1 con la dosis de 0,3% tiene la mayor resistencia a la compresión a la edad de 28 días.

El HPMC retarda las reacciones del cemento, debido a la retención de agua que tiene en el sistema, asegura el mayor grado de hidratación en edades más avanzadas.

Figura 27.

Efecto del porcentaje de HPMC en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2



Una de las características que también influencia el éter de celulosa es el tiempo abierto.

La duración del tiempo abierto está esencialmente determinada por dos factores de relevancia:

Calidad del pegamento: cuanto mayor sea el tiempo abierto del pegamento, mayor es el tiempo abierto disponible para la colocación.

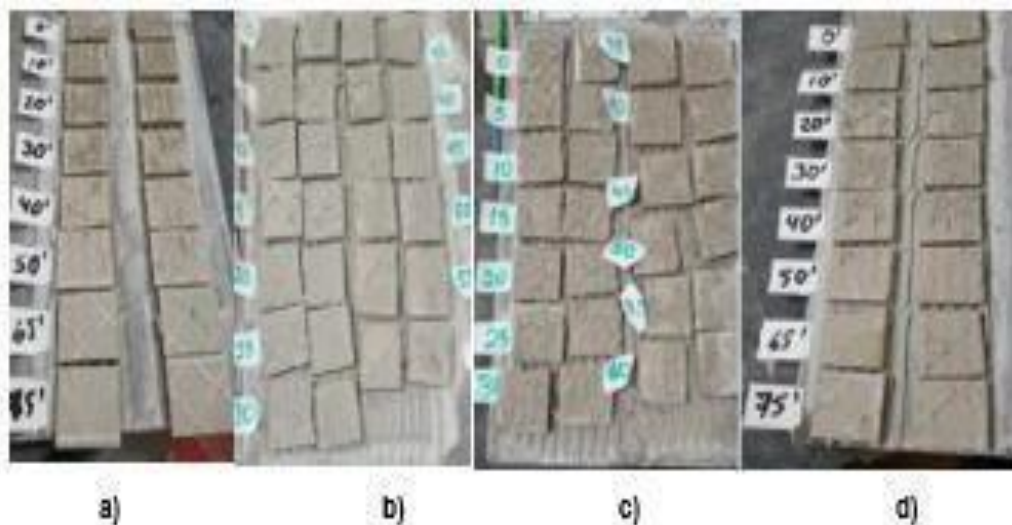
Elementos de evaporación del entorno de la instalación (temperatura, humedad relativa del entorno, presencia de corrientes de aire o viento, asoleamiento).

Las condiciones del tiempo en el laboratorio son:

Temperatura =23°C, Humedad relativa: 63%.

Figura 28.

Tiempo Abierto a) HPMC M1 al 0,2% b) HPMC M1 al 0,3%, c) HPMC M1 al 0,4% d) HPMC M1 al 0,5%



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

Según la figura 28 se muestra el tiempo abierto de cada pegamento donde este va perdiendo su pegajosidad, se observó que, en la parte posterior de la baldosa al destaparlos luego de una hora, este se encuentra manchado de pegamento más del 50% de su área.

Tabla 8.

Comparativo de los tiempos abiertos a diferentes dosis de HPMC M1

Norma ISO 13007-2 ≥ 20 minutos	Tiempo Abierto del pegamento cementicio C2 a diferentes dosis de éter de celulosa HPMC M1			
	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%
	20 min	30 min	30 min	20 min

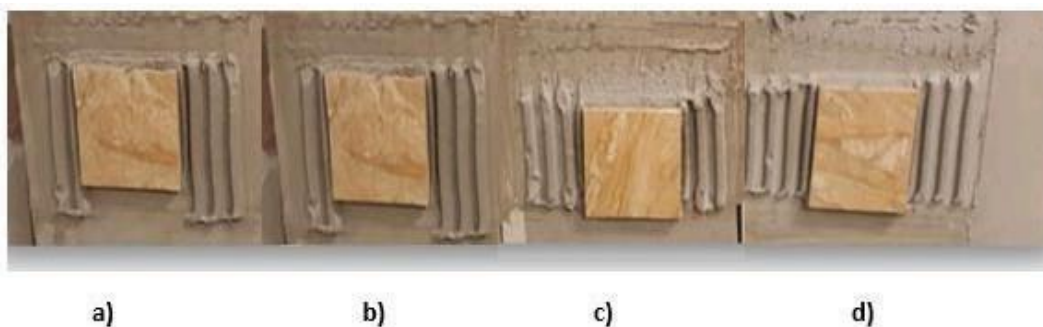
La tabla 6 nos indica que los mejores tiempos abiertos se encuentran con las dosis de éter de celulosa HPMC M1 con el 0,3% y 0,4%, según la norma ISO 13007.

Un pegamento cementicio C2 su tiempo abierto mínimo debe de ser mayor o igual a 20 minutos.

Otra característica que también influencia el éter de celulosa es el desplazamiento en vertical del pegamento.

Figura 29.

Deslizamiento a) HPMC M1 al 0,2% b) HPMC M1 al 0,3%, c) HPMC M1 al 0,4% d) HPMC M1 al 0,5%



Nota: Tomado de Laboratorio GMP Técnica

Según lo explicado en la norma ISO 13007, para que cumpla que sea un pegamento cementicio C2 el deslizamiento debe ser menor a 0,5 mm.

Tabla 9.

Comparativo de los deslizamientos a diferentes dosis de HPMC M1

Norma ISO 13007-2 ≤ 0,5 mm	Deslizamiento del pegamento cementicio C2 a diferentes dosis de éter de celulosa HPMC M1			
	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%
	0,1mm	0,1mm	0,70mm	0,54mm

Por lo expuesto en la figura 29 los que cumplieron con no deslizarse fueron los pegamentos que tenían una dosis de éter de celulosa HPMC M1 al 0,2% y 0,3%.

Al preparar estos pegamentos notamos que tenían una buena consistencia pastosa, eso ayuda a que no tenga deslizamiento comparado con los otros pegamentos. Por lo expuesto la dosis de éter de celulosas HPMC M1 con mejor performance es la de 0,3%.

La figura 30 muestra la influencia del polímero redispersable EVA en un pegamento cementicio C2. Se aprecia que la capacidad de adherencia más alta se ha obtenido para los pegamentos modificados con EVA al 3% de dosis, tiene una adherencia a la atracción de 1,24 MPa a la edad de 28 días.

Cuando el polímero EVA entra en contacto con el agua empleada en el pegamento, su tamaño medio oscila entre 0,5 y 5 micras. Este tamaño de partícula del polímero tiene un impacto en la capacidad para crear el film y las características ligantes en la matriz cementosa. (Gonzales Lucas, A., 2014).

Este polímero se propaga con el cemento y los áridos presentes en el pegamento durante el proceso de amasado. Por lo tanto, al iniciarse el proceso de amasado del pegamento, las partículas de polímero se polimerizan y crean una red a través de la microestructura del cemento.

Con el polímero EVA también se observa una mejora de la trabajabilidad debido a un ligero efecto plastificante del polímero en el pegamento.

Figura 30.

Efecto del porcentaje de EVA en la adherencia a la tracción a diferentes edades de un pegamento C2

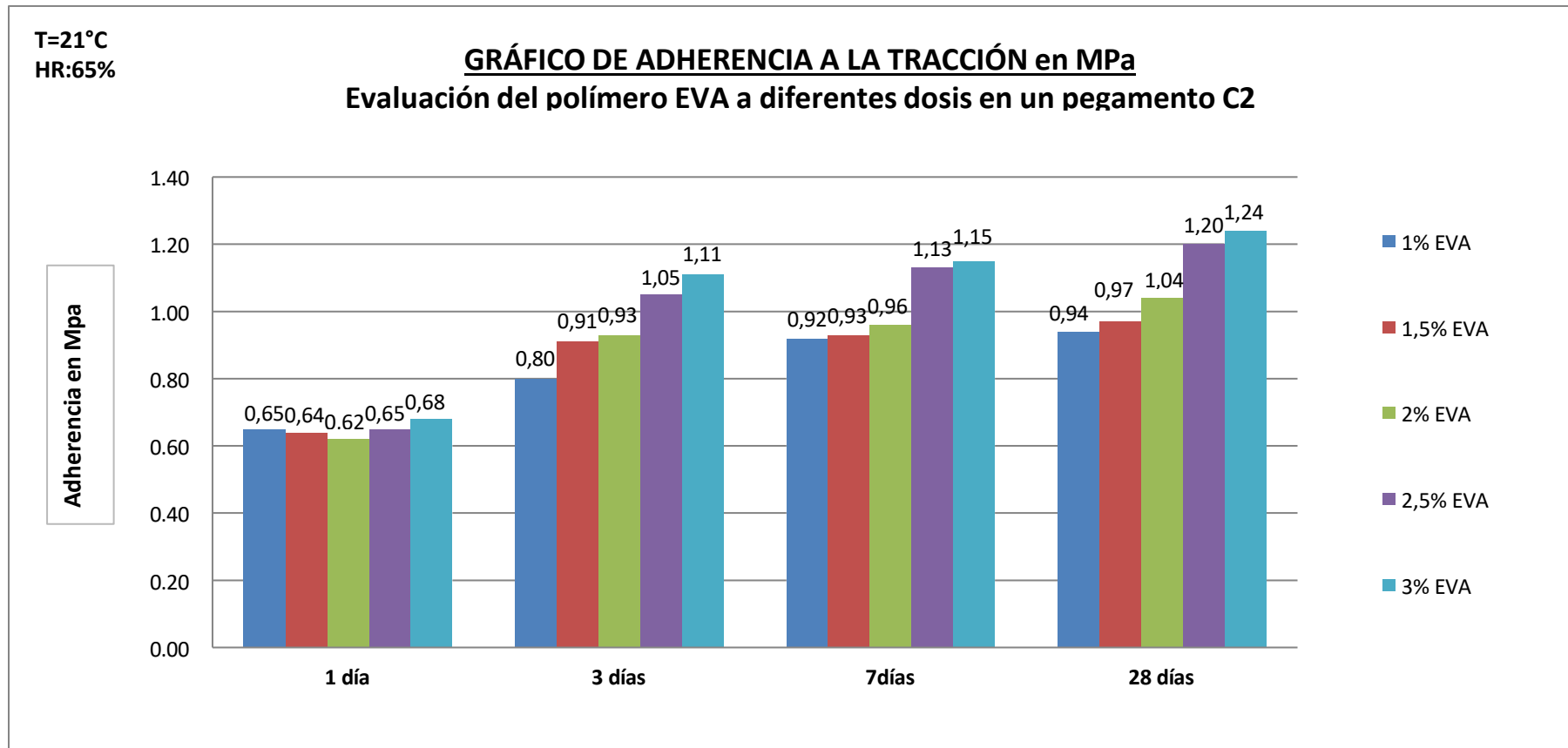
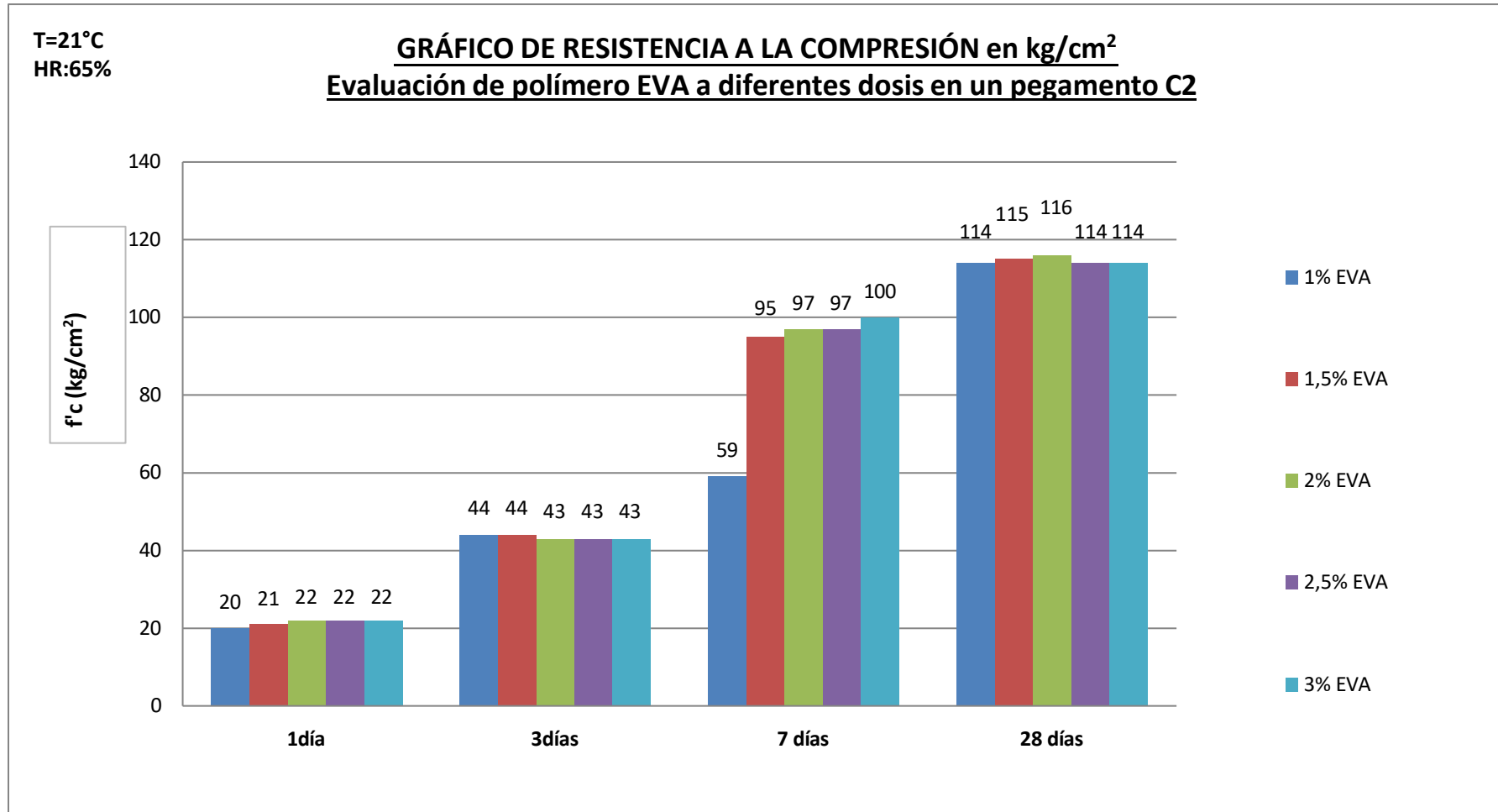


Figura 31.

Efecto del porcentaje de EVA en la resistencia a la compresión a diferentes edades de un pegamento C2



En la figura 31 se muestra la influencia del EVA en la resistencia a la compresión del pegamento cementicio C2 reiterando que la norma ISO 13007-1 no lo exige como requisito, se espera que el pegamento tenga como mínimo 75 kg/cm^2 .

Se aprecia que la mayor resistencia a la compresión a la edad de 28 días la tiene el pegamento que contiene el polímero EVA a la dosis de 2 % con 116 kg/cm^2

en este caso se eligió la dosis 3% que tiene 114 kg/cm^2 , donde también prevaleció la dosis con mayor adherencia.

La incorporación de este tipo de polímero EVA, al igual que ocurre en el caso de los polímeros en su estado original, mejora la resistencia a flexión y tiene un alto impacto en la resistencia a tracción del mortero final.

Sin embargo, tiene un ligero efecto de bajada de las resistencias a compresión. Debe considerarse que la relación agua/cemento y la porosidad del material endurecido es lo que principalmente gobierna el valor de la resistencia a compresión.

En la figura 32 se muestra un comparativo de un pegamento cementicio C1 vs un pegamento cementicio C2 en la prueba de adherencia a la tracción. El valor de adherencia de un C1 a edad de 28 días tiene un promedio de 0,72 MPa la cual cumple la norma ISO 13007 que indica un valor de 0,5 MPa a 28 días.

Comparado con el pegamento cementicio C2 este tiene un valor de 1,23 MPa a la edad de 28 días, cumpliendo así la norma ISO 13007 que indica un valor a 28 días de 1 MPa.

Esta diferencia de 41,5% más de adherencia entre ambos pegamentos indica que en la formulación del pegamento C2 debe tener un mayor porcentaje de polímero redispersable EVA, la cual mejora las cualidades de adherencia a la tracción.

En la figura 32 se muestra la gráfica de resistencia a la compresión de ambos pegamentos C1 y pegamento mejorado C2 obteniendo resultados a la edad de 28 días, donde el pegamento cementicio C1 tiene un valor de 71 kg/cm² y el pegamento cementicio mejorado C2 tiene un valor de 116 kg/cm².

Esta diferencia de 40,83 % más de resistencia a la compresión entre ambos pegamentos indica que en la formulación del pegamento mejorado C2 debe tener un mayor porcentaje de aglomerante hidráulico, la cual mejora las cualidades de resistencia a la compresión.

Figura 32.

Comparativo de la adherencia a la tracción de los pegamentos C1 y C2

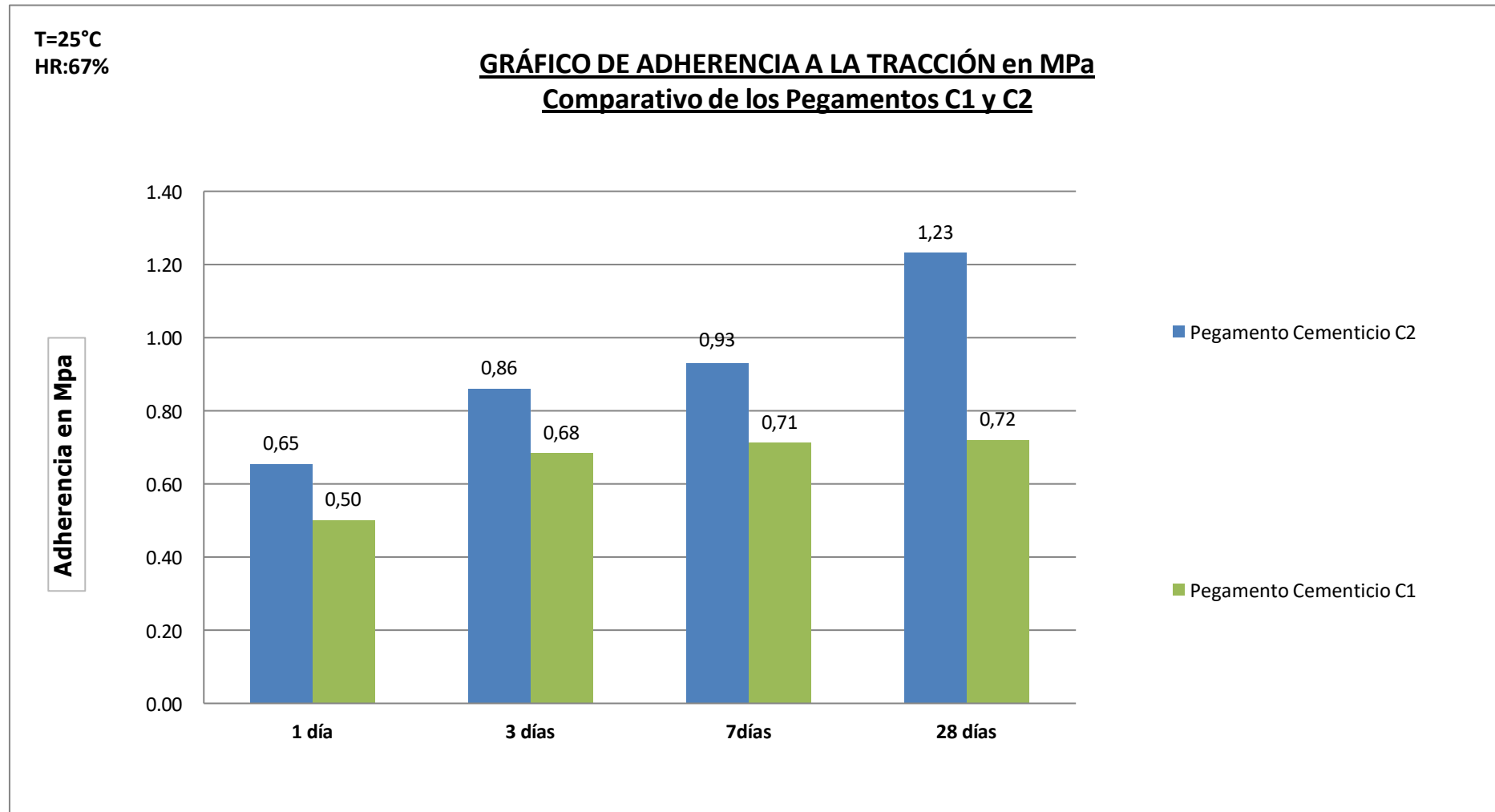


Figura 33.

Comparativo de la resistencia a la compresión de los pegamentos C1 y C2

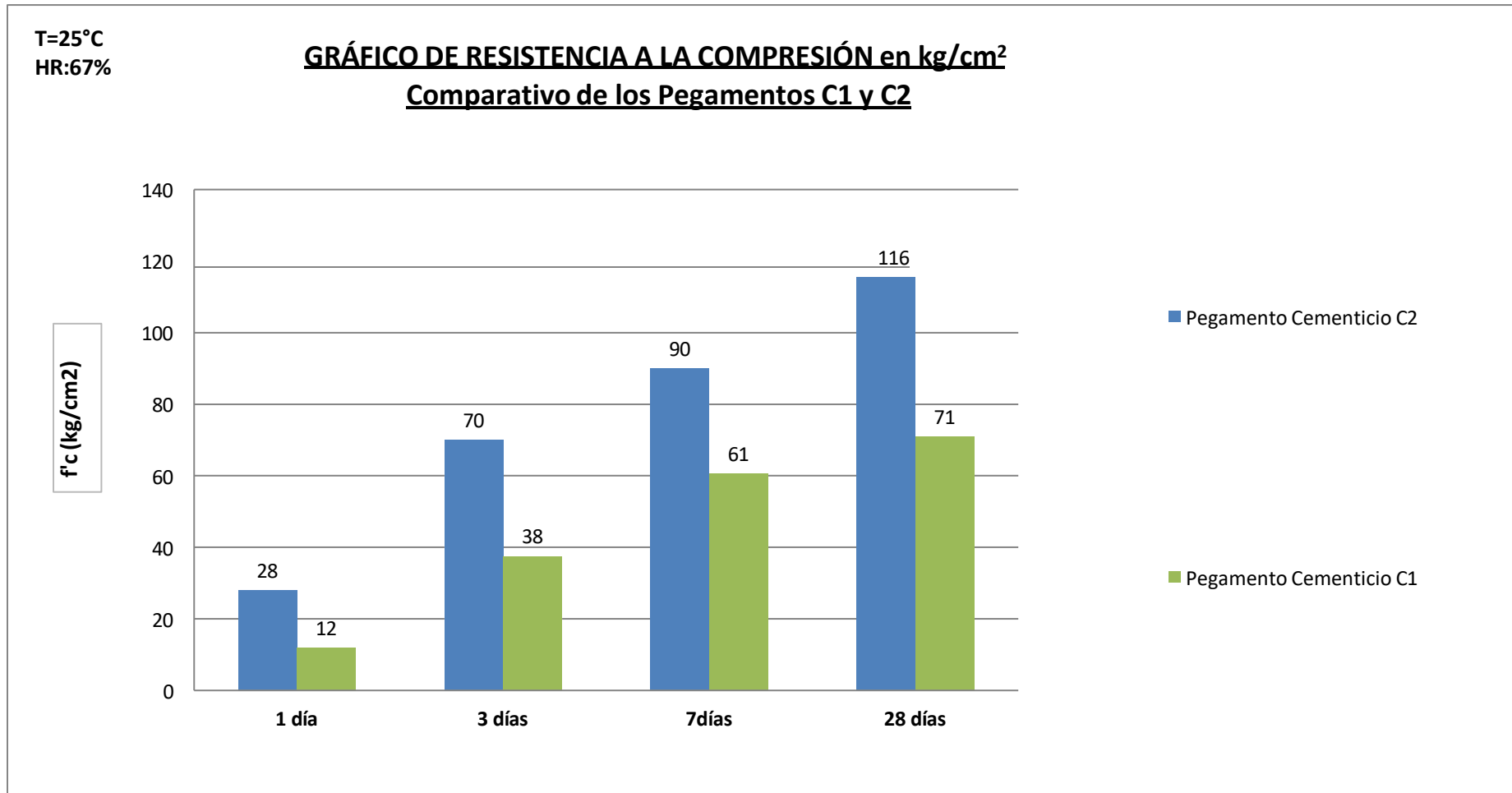


Tabla 10.

Comparativo de datos técnicos de un pegamento cementicio C1 vs un pegamento cementicio C2.

Nombre del Producto:	Pegamento Cementicio C1	Pegamento Cementicio C2
Color	Blanco	Blanco
Dosis de agua %	24%	24%
Trabajabilidad	Pasta más suelta	Pasta Consistente , buena trabajabilidad
Desplazamiento	<5mm	<5mm
Resistencia a la Adherencia por tracción (Mpa) ISO 13002-2	1D : 0,50	0,65
	3D : 0,68	0,86
	7D : 0,71	0,93
	28D : 0,72	1,23
Resistencia a la Compresión (kg/cm2)	1D : 12	28
	3D : 38	70
	7D : 61	90
	28D : 71	116
Tiempo abierto (minutos)	20	30
Temperatura / Humedad relativa	25°C - HR:67	
* Cobertura depende de la cantidad de dosis de agua (mínimo -máximo)		

CONCLUSIONES

- i. Se determinaron los parámetros óptimos para la elaboración del pegamento cementicio mejorado C2 donde deben cumplir las siguientes dosis de éter de celulosa HPMC 0,3% y EVA al 3% en la fórmula de pegamento.
- ii. Se mejoraron las propiedades de adhesión, tiempo abierto y deslizamiento utilizando una dosis de agua al 24% en la elaboración del pegamento cementicio mejorado C2 según norma.
- iii. Realizando una comparación entre el pegamento cementicio normal C1 y un pegamento mejorado C2 se identificó que este último tiene mayor resistencia de adhesión y resistencia a la compresión, cumpliendo así con la norma ISO 13007-1

RECOMENDACIONES

- i. Es importante considerar el volumen de agua empleado en la mezcla del pegamento ya que esta interviene bastante en la resistencia a la compresión.
- ii. Es necesario utilizar este producto en un entorno con una buena ventilación.
- iii. Es importante tener precaución al limpiar cada uno de los equipos. la prensa hidráulica, medidor de adherencia, etc.
- iv. Para llevar a cabo los ensayos de esta tesis, es necesario considerar que los utilizados están debidamente calibrados y así evitar fallas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAPA. (2008). [www.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](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](https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/156/adhesivos-para-colocacion-de-baldosas-ceramicas-y-otros-materiales-rigidos-modulares-/1)

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 Látex y Polimerios*. Colombia.

Brandt L. *Cellulose Ethers.*, *Ullmann.s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5ª edición, Volumen A5, 1986 P. 461. 488.

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 análisis de costo de producción*. La Paz.

CONSTRUMÁTICA. (s.f.). *Construmatica: Metaportal de Arquitectura, ingeniería y Construcción*. Obtenido de [www.construmatica.com: https://www.construmatica.com/construpedia/Componentes_del_Mortero](https://www.construmatica.com/construpedia/Componentes_del_Mortero).
Caracter%C3%ADsticas

De Oliveira, Juliana (2006). *Influencia de los aditivos poliméricos en la adherencia tras la inmersión en agua*.

DIN EN 12004:2007, *Adhesives for Tiles - Requirements, Evaluation of Conformity, Classification and Designation.*, Beuth Verlag, Berlín.

Felixberger, J. K. (2008). *Adhesivos de colocación en capa delgada modificados con polímeros*. Alemania

Gonzales Lucas, Ángel (2014). *Comportamiento frente a la durabilidad de morteros de reparación de cemento modificados con polímeros*.
<https://gomezchem.com/product-areas/hidroxipropilmetilcelulosa-hpmc/>

González Cudilleiro, D. (2011). *Guía de la Baldosa Cerámica. España: Colección del Centro Editorial*.

Mogollón Babbage, J. E. (2006). *Morteros secos en el campo de la construcción*.
Lima.

Ohama Y. *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*., Elsevier B.
V.ISBN 978-0-8155-1358-2, 1995.

Raynaud L., Amathieu L. *Benefits of Using Calcium Aluminate Cements in Drymix Mortars*.,
Middle East Drymix Mortar Association, Technical Bulletin 1, 2014

UNE 83200(1984) *“Aditivos para hormigón, mortero y pasta. Aditivos para mortero de albañilería. Determinación del aire ocluido”* AENOR

<https://www.kemoxcellulose.com/es/para-que-se-utiliza-la-hidroxipropilmetilcelulosa/>

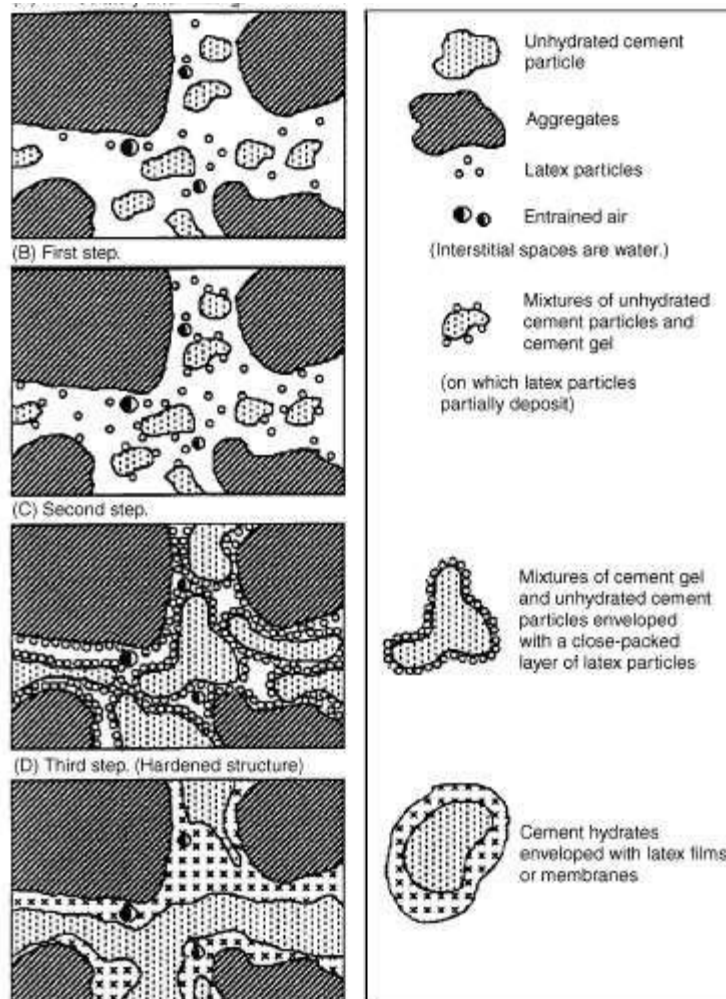
<https://www.qianhaochem.com/news/tecnologia-de-aplicacion-de-eter-de-celulosa-hpmc-en-mortero>.

ANEXOS

Anexo 1:	Modelo simplificado de formación de la matriz de látex- cemento	1
Anexo 2:	Modelo simplificado de formación de película de polímero en la hidratación del cemento	2
Anexo 3:	Patrones de Falla.	3

Anexo 1

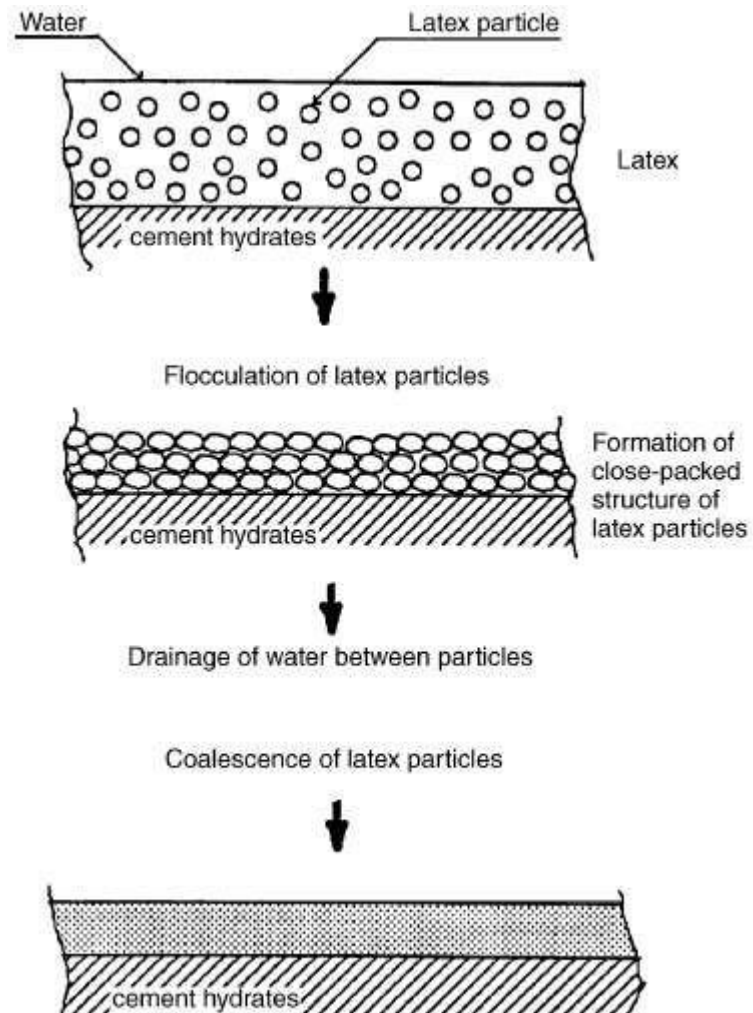
Modelo simplificado de formación de la matriz de látex-cemento



Nota: Tomado de (Ohama, 1973).

Anexo 2

Modelo simplificado de formación de película de polímero en la hidratación del cemento



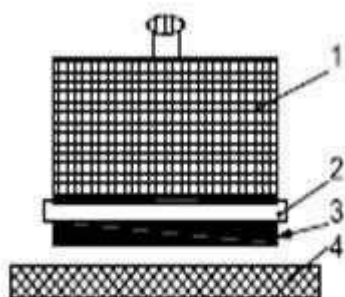
Nota: Tomado de (Wagner and Grenley ,1978).

Anexo 3

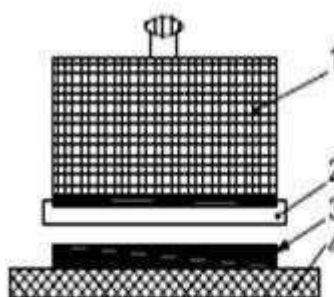
Patrones de Falla

- 1-Placa continuo de cabezal
- 2-Azulejo
- 3-Adhesivo
- 4-Sustrato (losa de hormigón)

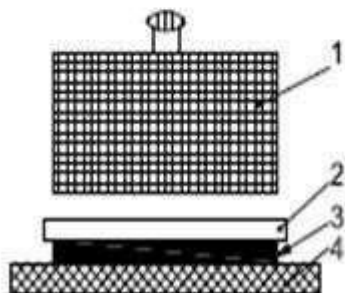
ISO 13007-2:2010(E)



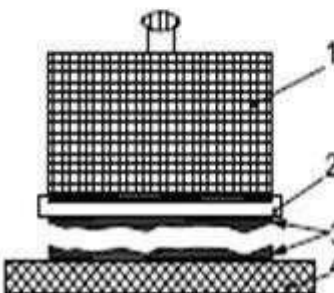
a) Fallo adhesivo entre el adhesivo y el sustrato-AF-S



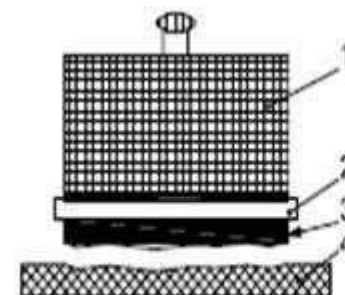
b) Fallo adhesivo entre el azulejo y el Adhesivo -AFT



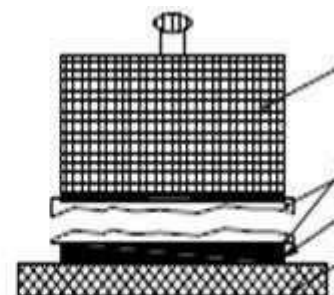
c) Fallo adhesivo entre azulejo y placa Continuo de cabeza-BF



d) Falla de cohesión dentro del adhesivo-CF-A



e) Fallo de cohesión dentro del sustrato-CF-S



f) Falla de cohesión dentro de la baldosa-C-T

Nota: Tomado de (ISO 13007-2).