

INTRODUCCION

Antecedentes

Según fuentes históricas hace 2600 a.C el pueblo egipcio ya utilizaba un mortero, mezcla de arena con materia cementosa para unir bloques de piedra y levantar sus prodigiosas construcciones, parte de una de las pirámides de Gizeh fue levantada con un mortero similar al hormigón actual, incluso desde antes aun, hace 5600 a.C según fuentes históricas, la construcción más antigua realizada en hormigón es el suelo de una cabaña en Lepensky Vir (Serbia).

El nombre cemento como material de construcción tiene su origen en los romanos, que llamaron opus caementum a una obra de mampostería de piedra y un conglomerante de cal viva.

Historia del cemento portland y desarrollo del cemento cola

El cemento Portland se desarrolló a partir de cementos naturales fabricados en Gran Bretaña a partir de mediados del siglo XVIII. Su nombre se deriva de su similitud con la piedra de Portland, un tipo de piedra de construcción extraída de la isla de Portland en Dorset, Inglaterra.

En el año 1824 d.C James Parker y Joseph Aspdin patentaron un nuevo cemento hidráulico artificial, fabricado por la combustión conjunta de caliza y carbón, que denominaron Portland Cement por su color oscuro, similar a la piedra de la isla de Portland.

William Aspdin hijo de Joseph Aspin mejoró aún más el cemento portland elaborado por su padre, sin embargo, Isaac Charles Johnson fue quien refino aún más la elaboración del cemento mejorado de William Aspdin y es lo que hoy conocemos como el cemento portland moderno.

El desarrollo del cemento cola se puede decir que surgió como una necesidad en el campo de la construcción para unir materiales cerámicos de manera eficiente. A lo largo del tiempo, se han desarrollado diferentes tipos de cemento cola, como el clásico (Tipo C1), o el Porcelánico (Tipo C2) cada uno con características específicas para distintos

usos. El cemento cola ha evolucionado para satisfacer las demandas de la construcción moderna, brindando adherencia, resistencia y versatilidad en la colocación de revestimientos para interiores y exteriores.

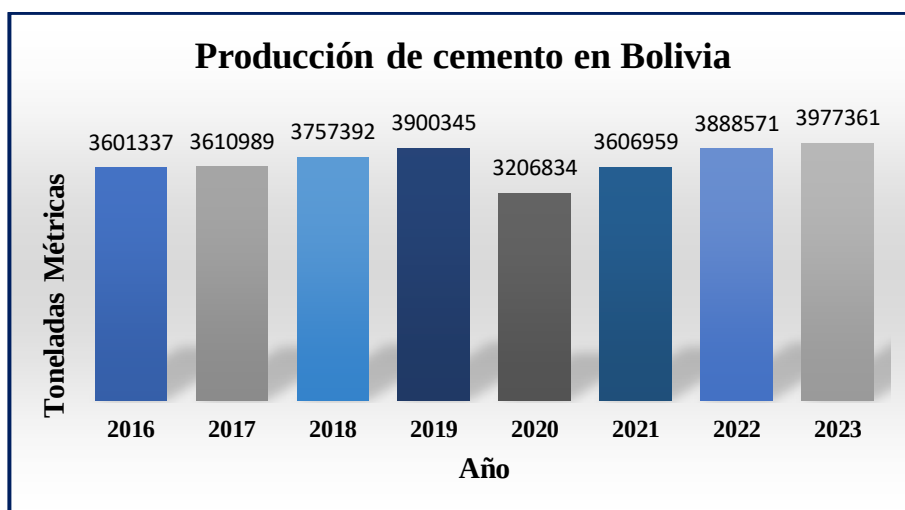
Panorama mundial del cemento

Principales productores de cemento en el mundo

En el año 2023 los seis principales productores de cemento en el mundo fueron: China, India, Vietnam, Estados Unidos, Turquía e Irán, el principal productor fue China con una producción de 2100 Millones de toneladas métricas (MMT), seguido de India con una producción de 410 (MMT), Vietnam con una producción de 110 (MMT), Estados Unidos con una producción de 91 (MMT), Turquía con una producción de 79 (MMT) e Irán con una producción de 65 (MMT).

Panorama nacional del cemento:

Producción de cemento por año a nivel nacional

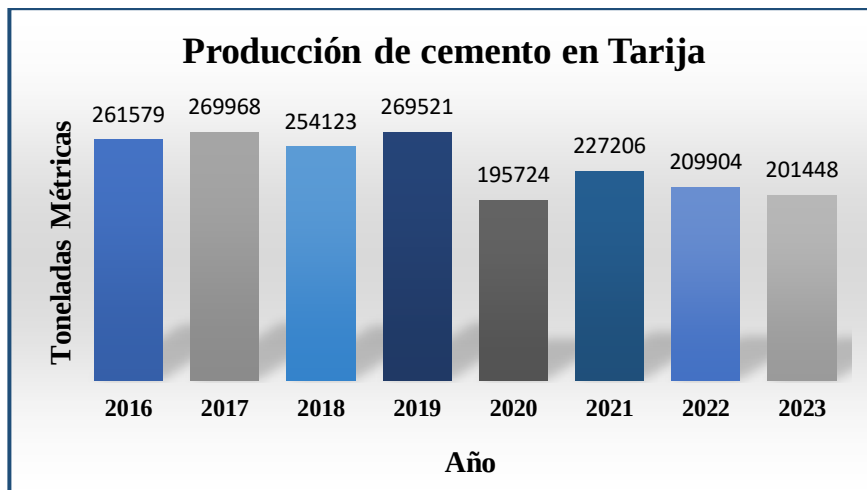


Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE

Se puede observar que la producción en Bolivia disminuyó en el año 2020, pero a partir del año 2021 nuevamente la producción estuvo en ascenso hasta el año 2023 con una producción de 3977361 toneladas métricas.

Panorama regional del cemento

Producción de cemento por año a nivel regional



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE

Cemento cola o cemento adhesivo

El cemento cola llamado también cemento adhesivo es una mezcla de conglomerantes hidráulicos, áridos y aditivos orgánicos, el cemento cola tiene la capacidad de adherencia a baldosas cerámicas y porcelanatos que puede medirse por resistencia a la tracción.

La capacidad de adherencia se determina según los métodos descritos en la norma boliviana NB 127002:2013 “Morteros y hormigones – Adhesivos para baldosas cerámicas (cemento cola) – Requisitos, clasificación y designación”, dando lugar a tipos de rotura también mencionados en la norma boliviana NB 127002:2013.

Importancia del Cemento cola

El cemento cola ha sido un producto muy empleado en los últimos años en Tarija y Bolivia, siendo usado en amplias áreas dentro la construcción como en la colocación y pegado de materiales cerámicos y porcelanatos para interiores y exteriores de construcción.

El cemento cola representa una mejora notable de las propiedades de los cementos tradicionales no solo en lo que se refiere a las condiciones de puesta en obra (trabajabilidad, pegosidad), sino en cuanto a los resultados finales de la adherencia, o fuerza de tracción, lo cual garantiza una adherencia sólida y duradera de los materiales cerámico y porcelanatos para interiores y exteriores.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Elaborar cemento cola tipo C1 a escala laboratorio a partir de cemento Portland IP-30.

Objetivos específicos

- Obtener a nivel laboratorio el procedimiento para el cemento cola tipo C1.
- Verificar la adherencia del cemento cola tipo C1.
- Comparar los resultados obtenidos de la elaboración del cemento cola tipo C1 con la norma Boliviana N° 127002:2013.
- Determinar que parámetros tomar en cuenta para el control de calidad del cemento cola tipo C1 obtenido de acuerdo a la norma Boliviana N° 127002:2013.
- Determinar y describir los aditivos, necesarios para elaborar cemento cola tipo C1.
- Caracterizar las materias primas (cemento portland IP-30, arena).
- Diseño dimensional de una mezcladora para la elaboración de cemento cola tipo C1 a escala laboratorio.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Justificación social

En Tarija hace varios años se produce cemento cola, fábrica como Cera Fix produce cemento cola hace veintisiete años, y otras empresas tarijeñas como Pegaforte, Pegadhex también producen cemento cola hace varios años, esto demuestra una

importancia y utilidad de este producto, lo cual confirma la viabilidad de expandir y mejorar la producción de cemento cola tipo C1. La elaboración del cemento cola tipo C1 en esta región representa una opción favorable para la población tarijeña, ya que, al ser producido localmente, podría generar oportunidades de empleo tanto para la elaboración como para la distribución del producto, ayudando de esta manera al desarrollo social de esta región.

Justificación económica

En Tarija el comercio del cemento cola tipo C1 es notable y va en aumento, pero los productores de este tipo de cemento en la mayor parte son de otros departamentos de Bolivia, o de otros países, como Argentina, este aumento surge de la demanda de la población en especial a este producto por las cualidades que este tipo de cemento ofrece y por su precio accesible, las marcas con mayor reconocimiento en Tarija son: Pegadhex, Pegaforte, Sobomix, Cera Fix, Maxxi C, Weber, el ultimo de Argentina, la implementación de este producto representa una opción viable ya que se evitaría importaciones de otros departamentos, y de otros países, generando empleo y mejorando la economía de esta región.

Justificación ambiental

La producción de cemento cola tipo C1 no genera una gran contaminación ambiental, ya que el horno utilizado en su elaboración opera a temperaturas de 110°C a 130°C. La principal fuente de contaminación en el proceso es el polvo generado, por las características propias del mismo. Por lo tanto, la mayor contaminación ambiental relacionada con la producción de cemento cola tipo C1 es la contaminación del aire por el polvo de arena. Los principales afectados por esta contaminación son los trabajadores que elaboran el cemento cola tipo C1 y los residentes que se encuentren más cercanos a la fábrica o alrededor de la zona, por lo que la fábrica deberá estar situada lejos de la ciudad y proporcionar a los trabajadores mascarillas, gafas de protección y ropa adecuada para minimizar la exposición al polvo.

Justificación tecnológica

Conscientes de la importancia de este producto se implementa una nueva tecnología ya que se presentan teorías, técnicas, conjunto de instrumentos y procedimientos que permiten el aprovechamiento en la elaboración del cemento cola tipo C1, además de dar un base para mejorar la investigación y desarrollo de este producto.

CAPITULO I

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Definición de cemento

Los cementos según la norma boliviana NB 011:2012 se definen como conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados, con agua forman pastas que fraguan y endurecen tanto en aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidrolisis o hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables.

1.2 Cemento Portland

El cemento portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente.

1.3 Clasificación de acuerdo a la composición en masa

Tabla I-1 Clasificación del cemento por su composición en masa

Tipo	Descripción
I	Cemento Portland.
IP	Cemento Portland con puzolana.
IF	Cemento Portland con filler calizo.
IS	Cemento Portland con adición de escoria.
IM	Cemento Portland mixto.
P	Cemento puzolánico.

Fuente: Reglamento técnico "cemento portland y cemento puzolánico"

1.4 Clasificación de acuerdo a la resistencia por compresión

Tabla I-2 Clasificación de acuerdo a la resistencia por compresión

Tipo	Descripción
40	Resistencia alta. Con resistencia mínima de 40 MPa.
30	Resistencia media. Con resistencia mínima de 30 MPa.
25	Resistencia baja. Con resistencia mínima de 25 MPa.

Fuente: Reglamento técnico "cemento portland y cemento puzolánico"

1.5 Cemento cola o adhesivo cementoso

El cemento cola es un tipo de mortero adhesivo para la colocación en paredes y suelos de baldosas cerámicas, tanto en interiores como exteriores. Están compuestos por cemento de color gris o blanco, carga mineral de naturaleza silícea o calcárea y algunos aditivos. Según la norma boliviana NB 127002:2013 se define el cemento cola o adhesivo cementoso como una mezcla de conglomerantes hidráulicos, áridos y aditivos orgánicos.

1.6 Clasificación y designación de cemento cola

La designación de este tipo de cemento se la realiza mediante la combinación de las distintas clases y características opcionales:

Tabla I-3 Clases y características opcionales de los adhesivos cementosos

Tipo	Clase	Características opcionales
C(cementosos)	1 (normal)	F (fraguado rápido)
		T (deslizamiento reducido)
		E (tiempo abierto ampliado)
	2 (mejorado)	F (fraguado rápido)
		T (deslizamiento reducido)
		E (tiempo abierto ampliado)

Fuente: NB 127002:2013

La designación del adhesivo cementoso se realiza con el símbolo (C), seguido de la abreviación clase y/o características opcionales a las que pertenece, la norma boliviana NB 127002: 2013 solo considera los adhesivos cementosos del tipo C, como se puede observar en la tabla I-4.

La siguiente tabla describe ejemplos de clasificación y designación de los adhesivos.

Tabla I-4 Ejemplos de clasificación y designación

Símbolo		Descripción
Tipo	Clase	
C	1	Adhesivo cementoso de fraguado normal
C	1E	Adhesivo cementoso de fraguado normal con tiempo abierto ampliado
C	1F	Adhesivo cementoso de fraguado rápido
C	1T	Adhesivo cementoso de fraguado normal con deslizamiento reducido
C	1TE	Adhesivo cementoso de fraguado normal, deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado
C	1FT	Adhesivo cementoso de fraguado rápido con deslizamiento reducido
C	1FE	Adhesivo cementoso de fraguado rápido con tiempo abierto ampliado
C	1FTE	Adhesivo cementoso de fraguado rápido, deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado
C	2	Adhesivo cementoso mejorado
C	2E	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado normal con tiempo abierto ampliado
C	2F	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado rápido
C	2T	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado normal con deslizamiento reducido
C	2TE	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado normal deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado

C	2FT	Adhesivo cementoso mejorado con fraguado rápido con deslizamiento reducido
Tipo	Clase	Descripción
C	2FE	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado rápido con tiempo abierto ampliado
C	2FTE	Adhesivo cementoso mejorado de fraguado rápido, deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado

Fuente NB 127002:2013

1.7 Cemento cola o adhesivo cementoso tipo C1 para interiores

El cemento cola tipo C1 según la norma NB 127002: 2013 es un cemento adhesivo que se usa exclusivamente para interiores con el objetivo de proporcionar una adherencia de 0,5 MPa que corresponde al cemento cola tipo C1 para interiores, de acuerdo a la norma boliviana NB 127002: 2013 tal adherencia se mide en una máquina de tracción en MPa.

1.8 Características de aplicación

1.8.1 Tiempo de conservación

Tiempo de almacenamiento en condiciones definidas durante el cual el adhesivo conserva sus propiedades.

1.8.2 Tiempo de maduración

Intervalo de tiempo entre el momento en que se mezcla el adhesivo cementoso y el momento en que está listo para usarse.

1.8.3 Vida útil

Intervalos máximos de tiempo durante el cual el adhesivo puede utilizarse después de que se haya mezclado.

1.8.4 Tiempo abierto

Intervalos máximos de tiempo tras la aplicación del adhesivo, durante el cual las cerámicas pueden ser colocadas cumpliendo la especificación de adherencia.

1.8.5 Capacidad humectante

Capacidad de una capa peinada de adhesivo de humectar la cerámica

1.8.6 Deslizamiento

Movimiento descendente de una cerámica colocada sobre una superficie vertical o inclinada con una capa de adhesivo peinado.

1.9 Propiedades del cemento cola

Las propiedades fundamentales del cemento cola tipo C1 son:

1.9.1 Adherencia

La adherencia es la fuerza máxima por unidad de superficie que puede medirse por resistencia a la tracción o a cizalla, esta resistencia a la tracción se realiza mediante un aparato de tracción cuyo objetivo es determinar la fuerza de adhesión que el cemento cola posee.

Podemos distinguir dos mecanismos de adherencia:

1.9.1.1 Adherencia mecánica

Cuando en un recubrimiento 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.

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.

1.9.1.2 Adherencia química

La denominación de adherencia química proviene del hecho que en la mayoría de los casos intervienen la química orgánica en la consecución de la adhesión. La incorporación de polímeros en los morteros para la colocación de recubrimientos cerámicos mejora considerablemente sus propiedades en fresco y finales.

1.10 Características fundamentales del cemento cola tipo c1

1.10.1 Adherencia inicial

La Adherencia Inicial consiste en el almacenamiento del cemento cola tipo C1, adherido a la cerámica durante 27 días en condiciones óptimas. Posteriormente, se adhieren las cerámicas a los cabezales de tracción, seguido de un período de almacenamiento de 24 horas. La resistencia a la tracción, medida con una máquina de tracción, debe ser mayor o igual a 0,5 MPa, conforme a la norma boliviana NB 127002:2013.

1.10.2 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.

1.11 Característica final

1.11.1 Adherencia o fuerza de tracción del cemento cola tipo C1

El cemento cola tipo C1 tiene como característica principal la adherencia que es la fuerza máxima por unidad de superficie, que puede medirse por resistencia a la tracción o cizalla.

1.12 Valores individuales de adherencia inicial o resistencia a la tracción

Los valores individuales de adherencia o resistencia a la tracción, se determinan con aproximación de 0,1 N/mm², aplicando la siguiente formula:

$$A_s = \frac{L}{A}$$

Donde:

A_s es el valor individual de la resistencia a la tracción en N/mm².

L es la carga total en N.

A es la superficie de encolado en mm².

1.13 TIPOS DE ROTURA

Después de realizar la prueba de adherencia o prueba de tracción al cemento cola tipo C1 se debe determinar el tipo de rotura que se generó, según la norma boliviana NB 127002: 2013 las roturas se clasifican en:

- Rotura adhesiva (AF-S o AF-T)
- Rotura cohesiva en el adhesivo (CF-A)
- Rotura cohesiva en la capa del adhesivo de alta adherencia (BT)
- Rotura cohesiva en el soporte o en la cerámica (CF-S o CF-T)

Según la norma boliviana NB 127002: 2013 para las roturas cohesivas en la capa del adhesivo de alta adherencia o adhesivo epoxídico (BT), para esos casos es preferible repetir el ensayo.

Para las roturas cohesivas en el soporte o en la cerámica (CF-S o CF-T) también es necesario repetir el ensayo, ya que en estos casos no se puede llegar a medir la fuerza de tracción o la adherencia del cemento cola elaborado, y ese es el objetivo medir que adherencia del cemento cola, por lo tanto, para los siguientes casos es necesario repetir el ensayo:

Tabla I-5 Tipos de rotura que requieren volver a realizar el ensayo

Rotura cohesiva en la capa del adhesivo de alta adherencia (BT)	
BT	Rotura se produce en la capa del adhesivo de alta adherencia que fija la baldosa cerámica al cabezal de tracción.
Rotura cohesiva en el soporte o en la cerámica (CF-S o CF-T)	
CF-S	Rotura se produce en el soporte
CF-T	Rotura se produce en el cuerpo de la cerámica

Fuente: NB 127002:2013

Los demás tipos de roturas no requieren volver a realizar el ensayo, por lo tanto, los siguientes tipos de roturas son las correctas que debe tener el cemento cola elaborado:

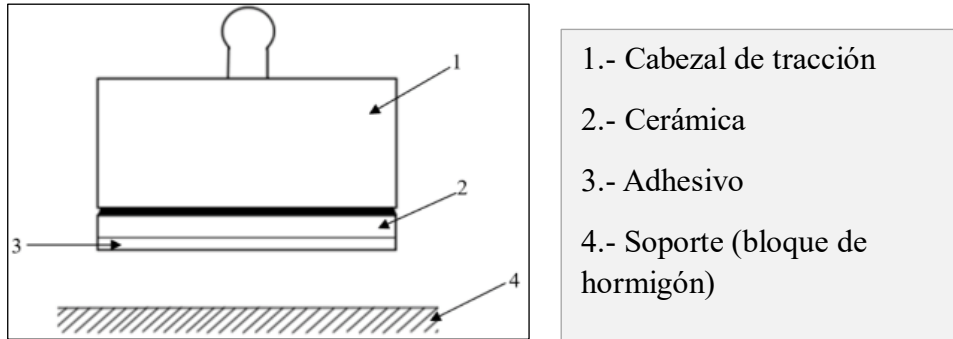
Tabla I-6 Tipos de roturas que no requieren repetir el ensayo

Rotura adhesiva (AF-S o AF-T)	
AF-S	Rotura entre: Adhesivo y soporte
AF-T	Rotura entre: Cerámica y adhesivo
Rotura cohesiva en el adhesivo (CF-A)	
CF-A	Rotura en la capa del adhesivo

Fuente: NB 127002:2013

Elementos que conforman el proceso de los diferentes tipos de rotura

Figura 1-1 Elementos que conforman el proceso de los diferentes tipos de rotura



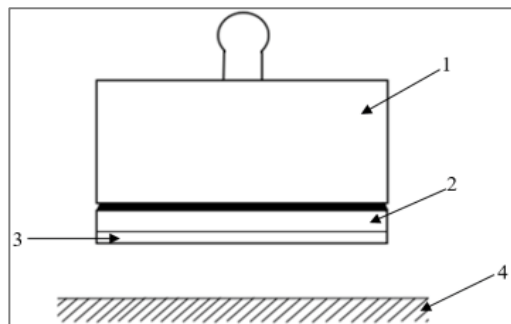
Fuente: Elaboración propia

1.14 Rotura Adhesiva

Se llama rotura adhesiva cuando la rotura tiene lugar en la interface entre el adhesivo y el soporte, se utiliza la denominación AF-S, cuando ocurre entre la cerámica y el adhesivo, se utiliza la denominación AF-T, y en ambos casos el valor del ensayo corresponde a la adherencia.

1.14.1 Rotura adhesiva entre el adhesivo y el soporte (AF-S)

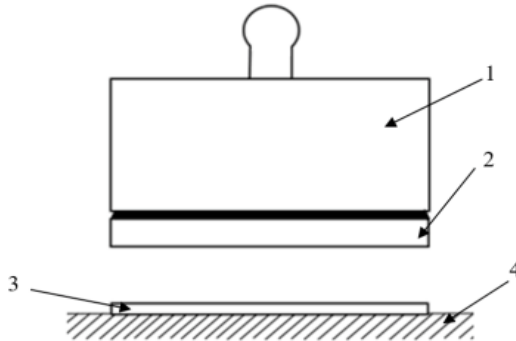
Figura 1-2 Rotura adhesiva entre el adhesivo y el soporte (AF-S)



Fuente: Elaboración propia

1.14.2 Rotura adhesiva entre la cerámica y el adhesivo (AF-T)

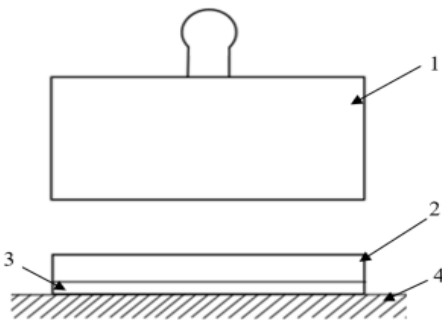
Figura 1-3 Rotura adhesiva entre la cerámica y el adhesivo (AF-T)



Fuente: Elaboración propia

1.14.3 Rotura adhesiva entre la cerámica y el cabezal de tracción (BT)

Figura 1-4 Rotura adhesiva entre la cerámica y el cabezal de tracción (BT)

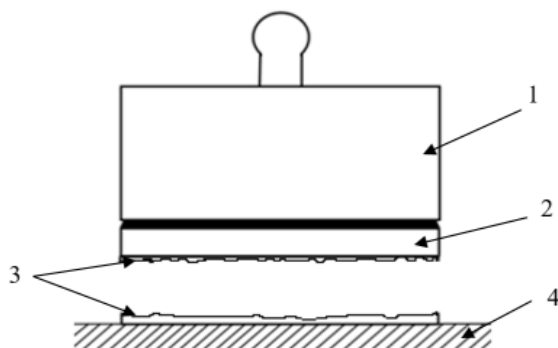


Fuente: Elaboración propia

1.15 Rotura Cohesiva en el Adhesivo (CF-A)

Se llama rotura cohesiva en el adhesivo cuando la rotura se produce en el seno de la capa de adhesivo, se utiliza la denominación CF-A.

Figura 1-5 Rotura Cohesiva en el adhesivo (CF-A)



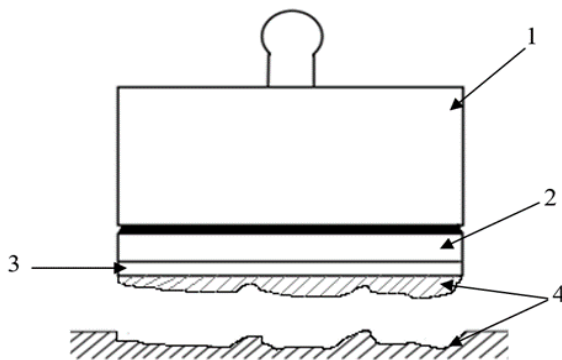
Fuente: Elaboración propia

1.15.1 Rotura Cohesiva en el soporte o en la cerámica

Cuando la rotura se produce en el soporte se utiliza la denominación CF-S, cuando la rotura se produce en el cuerpo de la cerámica se utiliza la denominación CF-T.

1.15.2 Rotura cohesiva en el soporte (CF-S)

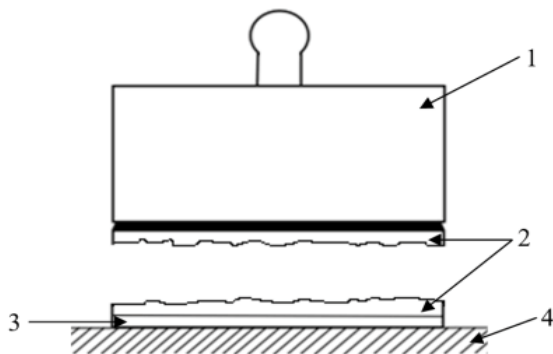
Figura 1-6 Rotura cohesiva en el soporte (CF-S)



Fuente: Elaboración propia

1.15.3 Rotura cohesiva en la cerámica (CF-T)

Figura 1-7 Rotura cohesiva en la cerámica (CF-T)



Fuente: Elaboración propia

1.16 Aditivos

Tomando como referencia la norma boliviana NB 011:2012 los aditivos son productos que en proporciones menor al 1% en masa pueden ser utilizados eventualmente para facilitar o para aportar al cemento, morteros y sus derivados algún comportamiento específico que se requiera.

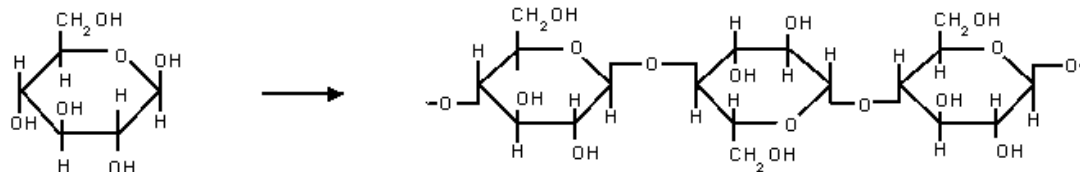
El contenido de estos aditivos se encuentra generalmente por debajo del 1% y pueden agregarse únicamente en forma de polvo a la composición de mezcla seca.

1.16.1 Celulosas

Según John McMurry en su libro Química orgánica, la celulosa es un polímero construido por la repetición de unidades del monómero de la glucosa, las moléculas de celulosa interactúan para formar una gran estructura agregada sostenidas entre sí por puentes de hidrógeno.

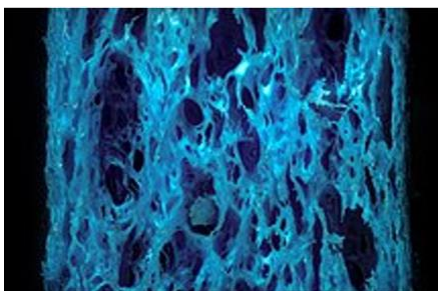
En la naturaleza utiliza la celulosa principalmente como un material estructura para impartir fuerza y rigidez a las plantas y vegetales.

La fórmula química de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$ donde n es el grado de polimerización.



La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.

Figura 1-8 Celulosa bajo microscopio



Celulosa bajo microscopio

Fuente: Wikipedia cellulose

La celulosa actúa como agente retenedor de agua en productos como cemento cola debido a su estructura molecular, ya que su estructura está compuesta por largas cadenas de moléculas de glucosa, esta estructura permite la formación de una red tridimensional que puede atrapar y retener moléculas de agua, lo que permite a mantener el agua en la mezcla durante más tiempo, la celulosa también mejora la trabajabilidad dentro de productos como cemento cola.

1.17 Proceso de fabricación de cemento cola a nivel industrial

Las materias primas a usar en el proceso de fabricación del cemento cola es la arena, cemento portland, y aditivos seleccionados.

Secado de la arena:

El proceso inicia con el secado de la arena en un horno rotatorio, la arena debe ser secada en el horno a temperaturas de 110°C a 130°C, la arena se deposita en el extremo más alto del cilindro rotatorio, mientras que por el extremo más bajo se encuentran los quemadores y es por donde sale la arena seca.

Figura 1-9 Horno rotativo de arena



Fuente: GAP service TERMO

Clasificación de la arena

La clasificación de la arena se realiza en una malla que es un instrumento para cernir o cribar la arena, está compuesta por un recipiente grande con una tela, chapa o tejido con agujeros que sirve para limpiar un material o mezcla de materiales que tenga partículas de distintos tamaños, quedando dentro de la zaranda las partículas más gruesas de arena, separándolas así de la arena más fina que es lo que se requiere obtener de esta selección, para el cemento cola.

El uso y el tipo de malla dependerán del lugar de extracción de la arena, ya que algunas arenas son naturalmente más finas que otras.

Almacenamiento en silos de arena

La arena se deposita en silos de arena que es una estructura limpia, libre de humedad, seca, con la capacidad para albergar y conservar la arena seca y seleccionada.

Pesado y dosificación

En esta etapa se realiza el pesado de las materias primas como del cemento, la arena, y aditivos, en esta etapa se requiere dosificar correctamente las cantidades de cada

materia prima para la elaboración del cemento cola, cada elemento se dosifica de uno en uno para pasar al siguiente paso.

Mezclado de materias primas

El mezclado se realiza en un mezclador de paletas, la arena, el cemento portland, y los aditivos son introducidos y mezclados en una mezcladora de paletas, el producto obtenido es separado y llevado a una cinta transportadora para ser envasado y sellado.

1.18 Equipo o maquina tracción

Un equipo o máquina de tracción también se lo conoce como comprobador de adherencia, es un dispositivo utilizado para medir la capacidad de adherencia de un revestimiento mediante presión hidráulica, este tipo de pruebas es crucial para asegurar una unión fuerte y duradera en aplicaciones como revestimientos de cerámica o porcelanato para interiores o exteriores.

La máquina de tracción es necesaria y requerida para los siguientes objetivos:

Control de calidad: Asegura el cumplimiento de los estándares de adherencia necesarios.

Investigación y desarrollo: Contribuye al desarrollo y al mejoramiento de fórmulas de investigación como el de cemento cola.

1.19 Componentes del cemento cola tipo C1

El cemento cola según la norma boliviana NB 127002:2013 está conformado por los siguientes componentes:

Conglomerante hidráulicos, áridos, y aditivos orgánicos.

1.20 Composición de los componentes del cemento cola tipo C1

El cemento cola presenta diversas clasificaciones y designaciones con características específicas, entre las más conocidas se encuentran el cemento cola tipo C1 (clásico) y el cemento cola tipo C2 (mejorado).

En trabajos de investigación de la UMSA de la carrera de Ingeniería civil (Revista del instituto de ensayos de materiales “Investigación y Desarrollo”), y de Ingeniería Industrial (“Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola”), se indican las siguientes composiciones para un cemento cola tipo C1 y cemento cola tipo C2 respectivamente:

- Revista del instituto de ensayos de materiales “Investigación y Desarrollo”: arena: 55%, cemento Viacha especial: 40%, harina piedra caliza: 5%, aditivos: polvo redispersable: 1%, celulosa: 0,5% (Cemento cola tipo C1).
- Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola: arena: 65,7%, cemento portland IP-40: 33,3%, celulosa: 0,33%, polvo redispersable: 0,6% (Cemento cola tipo C2).

Donde el proyecto: Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola obtuvo mejores resultados en comparación con la composición propuesta por la revista del instituto de ensayos de materiales “Investigación y Desarrollo”.

La norma NB011:2012, establece que los aditivos para morteros no deben superar el 1%.

El cemento cola, también conocido como mortero cola, tiene composiciones comunes de mortero con proporciones de cemento-arena de 1:2 y 1:3.

1.21 Aditivo para Cemento Cola Tipo C1

1.21.1 La celulosa como aditivo

La celulosa es un aditivo utilizado en la elaboración de diferentes tipos de cemento cola debido a sus propiedades efectivas como agente retenedor de agua y prolongador del tiempo abierto, gracias a su estructura molecular. Además, posee las siguientes características:

Estructura Fibrosa: La celulosa es un polímero natural compuesto por largas cadenas de moléculas de glucosa unidas por enlaces β -1,4-glucosídicos. Esta estructura lineal y fibrosa le permite formar una red tridimensional que puede atrapar y retener agua.

Higroscopicidad: La celulosa es altamente higroscópica, lo que significa que puede absorber y retener agua. Esto es crucial para mantener la humedad en la mezcla de cemento cola, asegurando una hidratación adecuada y prolongando el tiempo abierto.

Formación de Gel: Cuando se mezcla la celulosa con los demás componentes y con agua, puede formar un gel viscoso, este gel aumenta la trabajabilidad y la viscosidad en una proporción adecuada del cemento cola, mejorando su resistencia a la tracción.

Capacidad de Retención de Agua: La celulosa tiene una alta capacidad de retención de agua debido a la presencia de numerosos grupos hidroxilo (-OH) en su estructura. Estos grupos forman enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, manteniéndolas en la mezcla por más tiempo.

Mathiesen, (empresa global que provee materias primas para diversos sectores industriales) menciona que la celulosa es el protagonista en la mejora de la reología y retención de agua, además, señala que otros aditivos son complementarios y su uso dependerá de las características específicas que se deseen conferir al adhesivo.

1.22 Mezcladores

1.22.1 Mezcladores mecánicos

Los mezcladores mecánicos son agitadores mecánicos provistos con motor directo o moto-reductor según las necesidades del producto para el mezclado, homogenización, emulsión o dispersión del mismo que nos dará la configuración idónea del agitador (de palas, turbinas, vertical, lateral, etc.)

Las mezcladoras mecánicas son dispositivos diseñados que pueden ser empleados para mezclar materiales de construcción como cemento, arena y agua de manera eficiente y uniforme, dentro de las mezcladoras mecánicas se encuentran diferentes tipos de mezcladoras como: mezcladoras de tambor, mezcladoras horizontales, mezcladoras

verticales dentro de las cuales se encuentran las mezcladoras planetarias que pueden emplearse para realizar mezclas de cemento cola.

1.22.2 Mezcladores por aire

Sistemas con soplantes de media y alta presión con serpentines de agitación fabricados en materiales termoplásticos, los cuales inyectan aire en el fluido provocando la homogenización de la mezcla de productos. Utilizados en la industria química para mezclar productos químicos soluciones y suspensiones asegurando una mezcla uniforme y evitando la sedimentación, en la industria farmacéutica para mezclar ingredientes activos y excipientes en la producción de medicamentos garantizando una distribución uniforme de los componentes.

1.22.3 Mezcladores tipo Venturi

El efecto venturi consiste en que el fluido en movimiento dentro de un recinto cerrado pasa a un conducto de menor sección lo que provoca un aumento de velocidad y por consiguiente una disminución de presión. En aumento de velocidades grandes, si introducimos un conducto en la sección reducida se produce una depresión que genera la aspiración del fluido de este conducto que se mezcla con el fluido del conducto principal. Este tipo de mezcladores tipo venturi son utilizados en la industria química para la mezcla de productos químicos especialmente en procesos donde se requiere una mezcla homogénea tanto de líquidos como de gases, en el tratamiento de aguas son empleados para la inyección y mezcla de productos químicos en el agua como el cloro y otros desinfectantes, asegurando una distribución uniforme, en procesos industriales en general empleados en cualquier proceso que requiera la mezcla de líquidos y gases como la producción de detergentes productos de limpieza.

CAPITULO II

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Descripción de materias primas

Las materias primas empleadas para la elaboración de cemento cola tipo C1 incluyeron:

2.1.1 Cemento Portland IP-30

El cemento portland IP-30 que se utilizó fue de la empresa cemento el puente, fábrica Tarijeña ubicada a 110 km de la ciudad de Tarija, el producto se obtuvo de una comercial en el centro de la ciudad de Tarija. El cemento portland IP-30 se caracteriza por tener una resistencia a la compresión de 30 Mpa a 28 días según la norma boliviana NB 011:2012, el cemento portland IP-30 tiene un peso específico es de 3,069 gr/cm³, con un tiempo de fraguado inicial de 168,8 minutos y tiempo de fraguado final de 4,51 horas.

2.1.2 Arena

La arena se obtuvo del valle central de Tarija y fue proporcionada por la fábrica Pegadhex empresa ubicada en Tarija, ya que esta empresa produce, entre otros productos, cemento cola o cemento adhesivo, para aplicaciones específicas, como el cemento cola, la arena debe ser fina, por lo que la arena que se usó para la elaboración de cemento cola tipo C1 fue la arena que pasó por una malla número 100 con abertura de 0,149 mm, la cual garantiza ser apta para la elaboración de cemento cola tipo C1.

2.1.3 Celulosa

Como aditivo se utilizó la celulosa este aditivo fue proporcionado por la fábrica Pegadhex. Debido a la confidencialidad de la empresa proveedora del aditivo de celulosa no se puede revelar el nombre de dicho aditivo. La celulosa empleada tenía las siguientes características: Sólido polvo, color blanco, inodoro e insípido, insoluble en agua, estructura fibrosa. Para el presente proyecto se optó por usar la celulosa como único aditivo para la elaboración del cemento cola tipo C1, ya que este aditivo es esencial y mencionado por fuentes de investigación.

2.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se realizó ensayos tomando como referencia la norma boliviana NB127002:2013, los cuales incluyeron: Ensayo de adherencia inicial, ensayos de Adherencia después de inmersión en agua y tiempos abiertos, en todos estos ensayos se debe utilizar el equipo o máquina de tracción la cual nos fue proporcionada por la empresa Pegadhex.

Cabe recalcar que la práctica se presentó un poco limitada debido a que en la universidad no se cuenta con el equipo necesario para realizar un cemento cola, y debido a que tampoco hay muchas referencias sobre este tema y por el costo individual y personal que representó realizar este proyecto, sin embargo sí se tomó en cuenta los requisitos más importantes que indica la norma boliviana NB 127002:2013 que es la adherencia inicial y la prueba en inmersión en agua, pero también se tomó en cuenta los tiempos abiertos aunque en la norma de referencia no se especifica claramente los tiempos abiertos que debe cumplir el cemento cola tipo C1.

2.3 Diseño factorial

Un diseño factorial es un tipo de experimento que consiste en estudiar los efectos de varios factores en una respuesta, considerando todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores.

El estudio se realizó mediante un diseño con un arreglo factorial de 2^3 correspondiente a la combinación de 3 factores y 2 niveles, la variable respuesta fue la adherencia o fuerza de tracción.

Se tomó en cuenta dos dosificaciones para la elaboración del cemento cola tipo C1.

Para la primera dosificación se tomó una muestra de 1kg de peso con la siguiente composición:

Tabla II-1 Dosificación 1

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	65,025	650,250
Cemento Portland IP-30	34,400	344,400
Celulosa	0,535	5,350
Total	100	1000

Fuente: Elaboración propia

Para la segunda dosificación se tomó una muestra de 1kg de peso con la siguiente composición:

Tabla II-2 Dosificación 2

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	74,580	745,800
Cemento Portland IP-30	25	250
Celulosa	0,420	4,200
Total	100	1000

Fuente: Elaboración propia

Como se trata de un diseño de experimentos 2^3 correspondiente a la combinación de 3 factores y 2 niveles, a partir de estas dos dosificaciones se obtuvo 6 dosificaciones más, dando en total de 8 dosificaciones.

En la siguiente tabla se muestra los factores que se estudiaron y sus niveles:

Tabla II-3 Factores y niveles del diseño factorial del experimento

Factores	Nivel Superior (+)	Nivel Inferior (-)
Arena (gr)	650,250	745,800
Cemento Portland IP-30 (gr)	344,400	250
Celulosa (gr)	5,350	4,200

Fuente: Elaboración propia

Para definir el nivel superior e inferior se tomó con preferencia los valores del cemento Portland IP-30 y de la celulosa, ya que el ultimo es el único aditivo empleado.

2.3.1 Matriz de diseño de experimentos para determinar la Adherencia inicial

Tabla II- 4 Diseño factorial para el proceso experimental

N.º de experimento	Arena	Cemento Portland IP-30	Celulosa	Respuesta Adherencia (Mpa)
1	-	-	-	R1
2	-	-	+	R2
3	+	-	-	R3
4	-	+	+	R4
5	+	+	-	R5
6	-	+	-	R6
7	+	-	+	R7
8	+	+	+	R8

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

i= Nivel

a= Variable arena

b = Variable cemento Portland IP-30

c= Variable celulosa

Como se puede observar en la tabla II-4, se obtienen 8 experimentos, con lo cual se tiene 8 respuestas de adherencia, las cuales se obtuvieron de un promedio de diez roturas producidas por la máquina de tracción. Sin embargo, según la norma boliviana NB:127004 y NB:127006, después de obtener el promedio de los 10 valores de adherencia de cada experimento, se debe descartar los valores que queden fuera de la banda de $\pm 20\%$ del valor promedio.

Con lo cual se generan 2 respuestas de adherencia por cada experimento.

- El valor promedio de las 10 roturas de cada experimento.
- El valor que este dentro la banda de $\pm 20\%$ del valor promedio.

Con la prueba de adherencia inicial se obtuvo la respuesta adherencia, ya que esta prueba es la más importante.

2.4 Evaluación estadística del diseño experimental

Para poder generar un modelo matemático y generar con este modelo resultados y comparar con los datos experimentales obtenidos se hará el uso del programa SPSS.

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) es un software ampliamente utilizado para el análisis estadístico de datos. Una de sus principales capacidades es la generación de modelos matemáticos a partir de datos experimentales.

Estos modelos permiten realizar comparaciones con datos reales para evaluar su precisión y validez.

Tabla II-5 Datos experimentales obtenidos:

Arena (gr)	Cemento portland IP-30 (gr)	Celulosa (gr)	Resistencia a la tracción (Adherencia) (MPa)
745,80	250	4,20	0,986
650,25	344,4	5,35	0,986
650,25	250	4,20	1,020
745,80	344,4	5,35	0,899
650,25	344,4	4,20	0,886
745,80	344,4	4,20	0,867
650,25	250	5,35	0,813
745,80	250	5,35	0,609
745,80	250	4,20	0,904
650,25	344,4	5,35	0,957
650,25	250	4,20	1,089
745,80	344,4	5,35	0,923
650,25	344,4	4,20	0,880
745,80	344,4	4,20	0,886
650,25	250	5,35	0,817
745,80	250	5,35	0,576

Fuente: Elaboración propia

Datos para el análisis estadístico

Tabla II-6 Datos para el análisis estadístico

Arena (gr)	Cemento Portland IP- 30 (gr)	Celulosa (gr)	Resistencia a la tracción (Adherencia) (Mpa)
-1	-1	-1	0,986
+1	+1	+1	0,986
+1	-1	-1	1,02
-1	+1	+1	0,899
+1	+1	-1	0,886
-1	+1	-1	0,867
+1	-1	+1	0,813
-1	-1	+1	0,609
-1	-1	-1	0,904
+1	+1	+1	0,957
+1	-1	-1	1,089

-1	+1	+1	0,923
+1	+1	-1	0,88
-1	+1	-1	0,886
+1	-1	+1	0,817
-1	-1	+1	0,576

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza Anova

Tabla II-7 Análisis ANOVA:

ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	0,261	6	0,043	48,487	<0,001 ^b
	Residuo	0,008	9	0,001		
	Total	0,269	15			
a. Variable dependiente: Resistencia a la tracción						
b. Predictores: (Constante), Celulosa-Cemento portland ip30, Arena-Celulosa, Arena-Cemento portland IP30, Celulosa, Cemento Portland IP30, Arena						

Fuente: Elaboración propia

En el análisis ANOVA se tiene una significancia es $< 0,001$ que es menor a 0,05 por lo que se procede al cálculo del modelo matemático con los datos obtenidos en el programa SPSS, de los coeficientes para el modelo matemático:

Tabla II-8 Coeficientes para el modelo

Coeficientes							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	0,881	0,007		117,685	<0,001	0,864	0,898
Arena	0,050	0,007	0,385	6,661	<0,001	0,033	0,067
Cemento portland IP30	0,029	0,007	0,227	3,923	0,003	00,012	0,046
Celulosa	-0,059	0,007	-0,452	-7,830	<0,001	-0,076	-0,042
Arena Cemento Portland IP30	-0,033	0,007	-0,255	-4,424	0,002	-0,050	-0,016
Arena Celulosa	0,021	0,007	0,161	2,788	0,021	0,004	0,038
Celulosa Cemento Portland IP30	0,089	0,007	0,689	11,937	<0,001	0,072	0,106
a. Variable dependiente: Resistencia a la tracción							

Fuente: Elaboración propia

Con la tabla II-8 se obtienen los coeficientes para para el modelo matemático:

Modelo Matemático:

Resistencia a la tracción = 0,881 + 0,050 Arena + 0,029 CementoportlandIP30 - 0,059 Celulosa – 0,033ArenaCementoportlandIP30 + 0,021 ArenaCelulosa + 0,089 CelulosaCementoportlandIP30

Con este modelo matemático obtenemos resultados para poder comparar con los datos experimentales:

Tabla II-9 Resultados variable respuesta

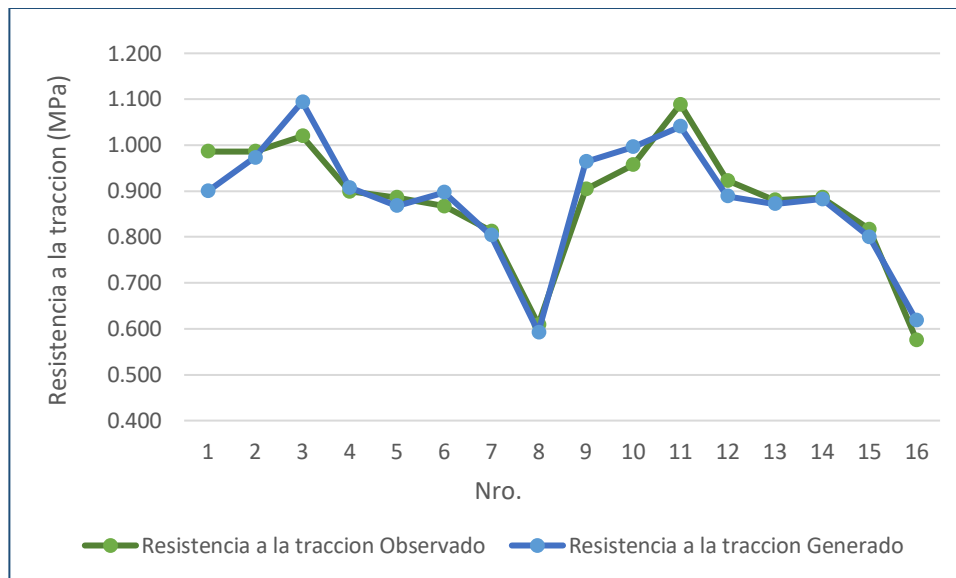
Nro.	Resistencia a la tracción observado	Resistencia a la tracción generado por el modelo
1	0,986	0,900
2	0,986	0,973
3	1,020	1,094
4	0,899	0,907
5	0,886	0,868
6	0,867	0,897
7	0,813	0,803
8	0,609	0,593
9	0,904	0,964
10	0,957	0,996
11	1,089	1,041
12	0,923	0,889
13	0,880	0,872
14	0,886	0,882
15	0,817	0,800
16	0,576	0,618

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los datos obtenidos mediante el modelo son similares a los datos obtenidos experimentalmente.

Comparación de resultados (Datos experimentales y datos mediante el modelo).

Figura 2-1 Datos experimentales y datos mediante el modelo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 2-1 se puede observar con más detalle la varianza de los resultados de la resistencia a la tracción experimental y la resistencia a la tracción del modelo, se puede observar que ambas adherencias (resistencia a la tracción) siguen una ruta similar tanto en los datos reales o experimentales que se obtuvo y la resistencia mediante el modelo matemático. Se puede concluir que los elementos utilizados en el método produjeron los resultados apropiados.

2.5 Ensayos y pruebas experimentales

2.6 Ensayo para la prueba de adherencia inicial

"Para cada una de las 8 dosificaciones, realizar 10 ensayos para sacar un promedio de estos diez resultados y pueda ir como respuesta adherencia en la matriz de experimentos, se realizó la selección y expresión de resultados como lo indica la norma boliviana NB 127006: 2013 a continuación detallada": Ver Anexo B

Evaluación y expresión de resultados

- Se determina la media de los 10 valores
- Se descarta los valores que quedan fuera de la banda de $\pm 20\%$ del valor medio

- Si quedan 5 valores o más, se determina el nuevo valor medio
- Si quedan menos de 5 valores, se repite el ensayo

2.6.1 Experimento 1 (correspondiente a la dosificación 1)

Tabla II-10 Formulación 1

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	74,580	745,800
Cemento Portland IP-30	25	250
Celulosa	0,420	4,200
Total	100	1000

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Resultados del experimento 1 (correspondiente a la dosificación 1)

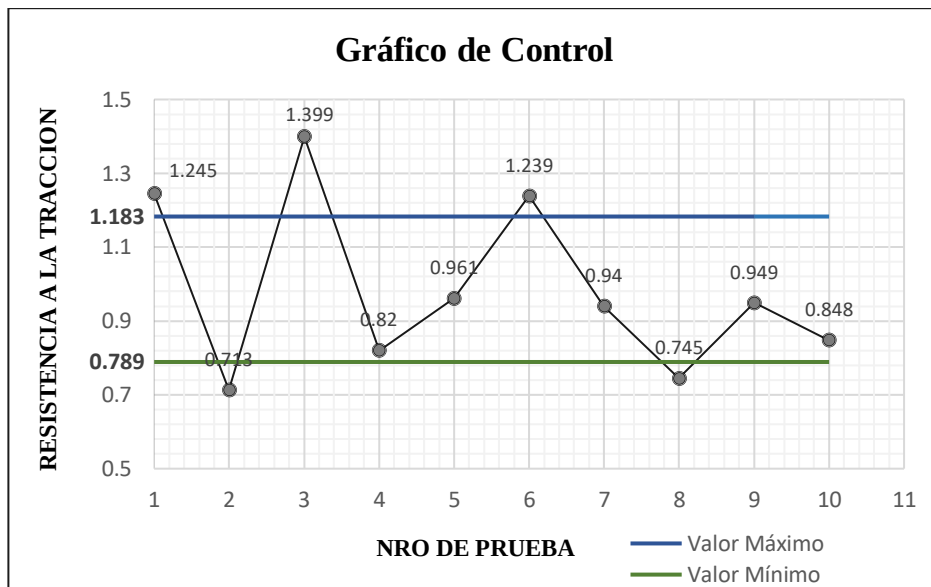
Tabla II-11 Resultados del experimento 1

Nº de Cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,183 - 0,789] (MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	1,245	0,986	0,820	0,904
2	0,713		0,961	
3	1,399		0,940	
4	0,820		0,949	
5	0,961		0,848	
6	1,239			
7	0,940			
8	0,745			
9	0,949			
10	0,848			

Fuente: Elaboración propia

Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-2: Gráfico de control prueba 1



Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Experimento 2 (correspondiente a la dosificación 2)

Tabla II-12 Formulación 2

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	65,025	650,250
Cemento Portland IP-30	34,440	344,400
Celulosa	0,535	5,350
Total	100%	1000

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Resultados del experimento 2 (correspondiente a la dosificación 2)

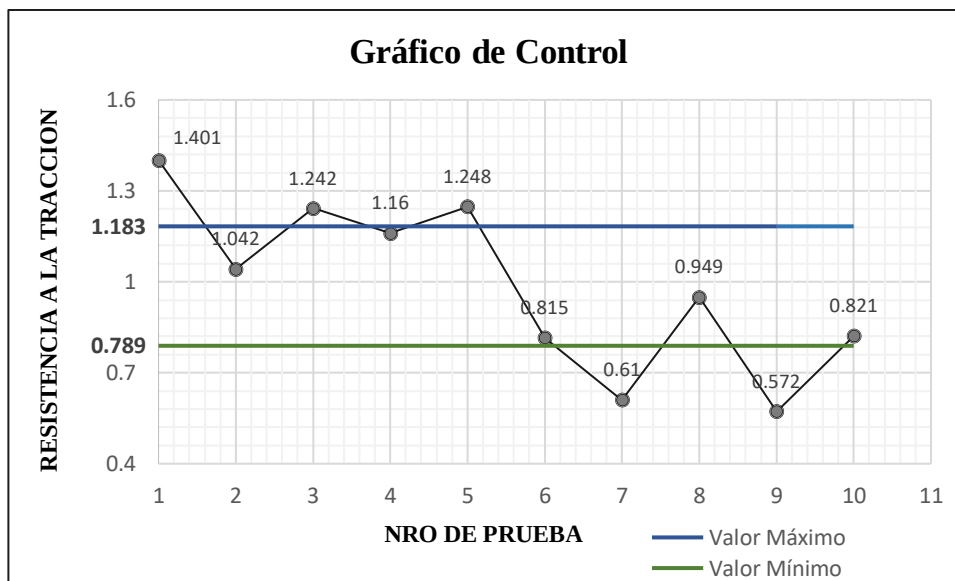
Tabla II-13 Resultados del experimento 2

N° de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,183 - 0,789](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	1,401	0,986	1,042	0,957
2	1,042		1,160	
3	1,242		0,815	
4	1,160		0,949	
5	1,248		0,821	
6	0,815		-	
7	0,610		-	
8	0,949		-	
9	0,572		-	
10	0,821		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.5 Experimento 2 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-3: Gráfico de control prueba 2



Fuente: Elaboración propia

2.6.6 Experimento 3 (correspondiente a la dosificación 3)

Tabla II-14 Formulación 3

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	71,890	650,250
Cemento Portland IP-30	27,640	250
Celulosa	0,460	4,200
Total	100	904,450

Fuente: Elaboración propia

2.6.7 Resultados del experimento 3 (correspondiente a la dosificación 3)

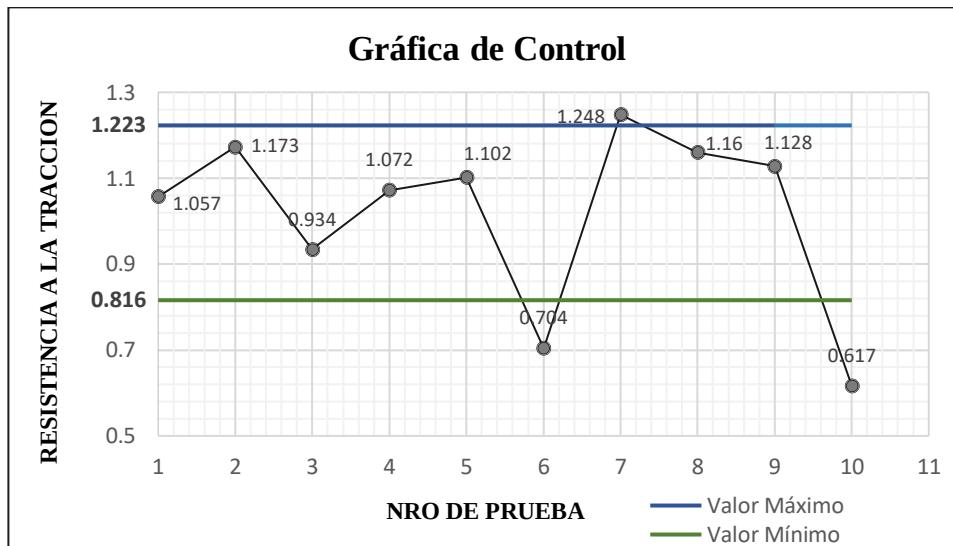
Tabla II-15 Resultados del experimento 3

Nº de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,223 - 0,816](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	1,057	1,020	1,057	1,089
2	1,173		1,173	
3	0,934		0,934	
4	1,072		1,072	
5	1,102		1,102	
6	0,704		1,160	
7	1,248		1,128	
8	1,16		-	
9	1,128		-	
10	0,617		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.8 Experimento 3 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-4: Gráfico de control prueba 3



Fuente: Elaboración propia

2.6.9 Experimento 4 (correspondiente a la dosificación 4)

Tabla II-16 Formulación 4

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	68,070	745,800
Cemento Portland IP-30	31,440	344,400
Celulosa	0,490	5,350
Total	100	1095,550

Fuente: Elaboración propia

2.6.10 Resultados del experimento 4 (correspondiente a la dosificación 4)

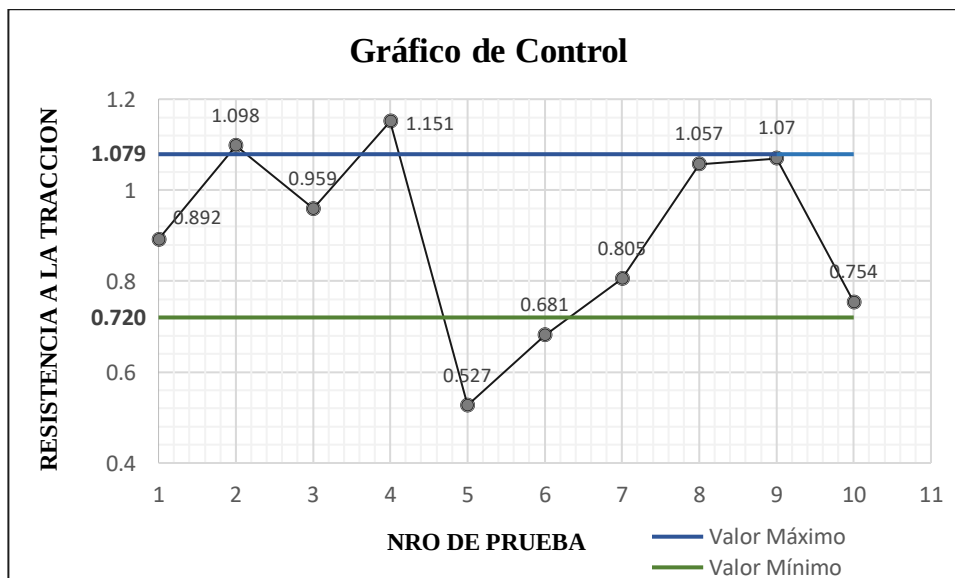
Tabla II-17 Resultados del experimento 4

N° de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,079 - 0,720](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,892	0,899	0,892	0,923
2	1,098		0,959	
3	0,959		0,805	
4	1,151		1,057	
5	0,527		1,070	
6	0,681		0,754	
7	0,805		-	
8	1,057		-	
9	1,070		-	
10	0,754		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.11 Experimento 4 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-5 Gráfico de control prueba 4



Fuente: Elaboración propia

2.6.12 Experimento 5 (correspondiente a la dosificación 5)

Tabla II-18 Formulación 5

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	65,100	650,250
Cemento Portland IP-30	34,480	344,400
Celulosa	0,420	4,200
Total	100	998,850

Fuente: Elaboración propia

2.6.13 Resultados del experimento 5 (correspondiente a la dosificación 5)

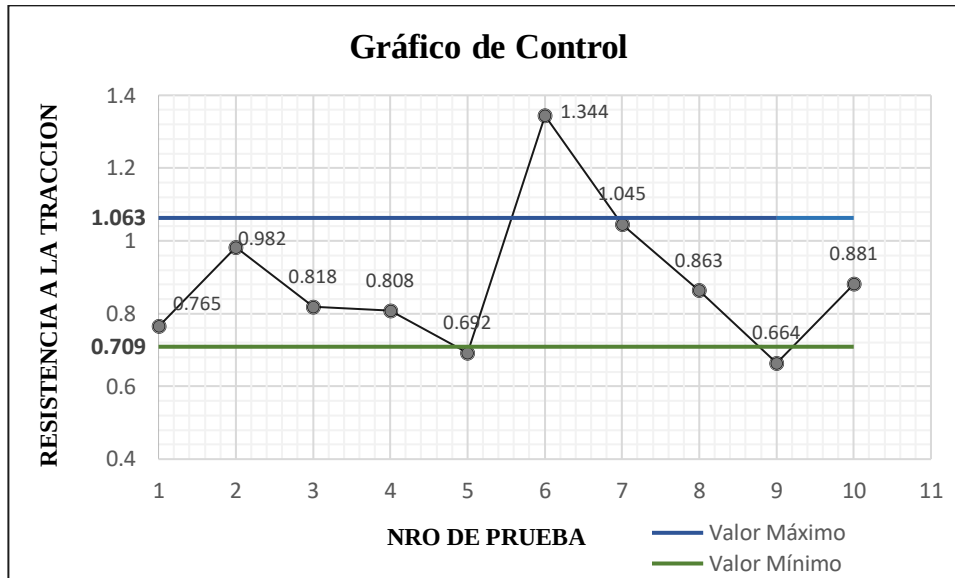
Tabla II-19 Resultados del experimento 5

N° de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,063 - 0,709](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,765	0,886	0,765	0,880
2	0,982		0,982	
3	0,818		0,818	
4	0,808		0,808	
5	0,692		1,045	
6	1,344		0,863	
7	1,045		0,881	
8	0,863		-	
9	0,664		-	
10	0,881		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.14 Experimento 5 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio.

Figura 2-6: Gráfico de control prueba 5



Fuente: Elaboración propia

2.6.15 Experimento 6 (correspondiente a la dosificación 6)

Tabla II-20 Formulación 6

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	68,150	745,800
Cemento Portland IP-30	31,470	344,400
Celulosa	0,380	4,200
Total	100	1094,400

Fuente: Elaboración propia

2.6.16 Resultados del experimento 6 (correspondiente a la dosificación 6)

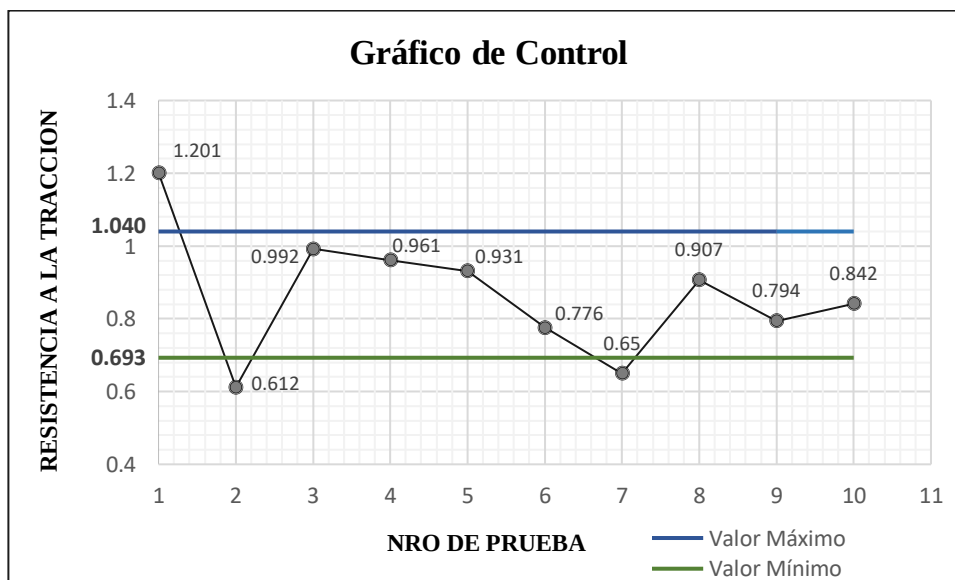
Tabla II-21 Resultados del experimento 6

Nº de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,040 - 0,693] (MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	1,201	0,867	0,992	0,886
2	0,612		0,961	
3	0,992		0,931	
4	0,961		0,776	
5	0,931		0,907	
6	0,776		0,794	
7	0,650		0,842	
8	0,907		-	
9	0,794		-	
10	0,842		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.17 Experimento 6 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-7: Gráfico de control prueba 6



Fuente: Elaboración propia

2.6.18 Experimento 7 (correspondiente a la dosificación 7)

Tabla II-22 Formulación 7

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	71,800	650,250
Cemento Portland IP-30	27,610	250
Celulosa	0,590	5,350
Total	100	905,600

Fuente: Elaboración propia

2.6.19 Resultados del experimento 7 (correspondiente a la dosificación 7)

Tabla II-23 Resultados del experimento 7

N° de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,976 - 0,651](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,665	0,813	0,665	0,817
2	0,916		0,916	
3	0,771		0,771	
4	0,875		0,875	
5	0,614		0,911	
6	0,911		0,761	
7	0,761		0,696	
8	0,984		0,939	
9	0,696		-	
10	0,939		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.20 Experimento 7 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-8: Gráfico de control prueba 7



Fuente: Elaboración propia

2.6.21 Experimento 8 (correspondiente a la dosificación 8)

Tabla II-24 Formulación 8

Componentes	%	Peso (gr)
Arena	74,500	745,800
Cemento Portland IP-30	24,970	250
Celulosa	0,530	5,350
Total	100	1001,150

Fuente: Elaboración propia

2.6.22 Resultados del experimento 8 (correspondiente a la dosificación 8)

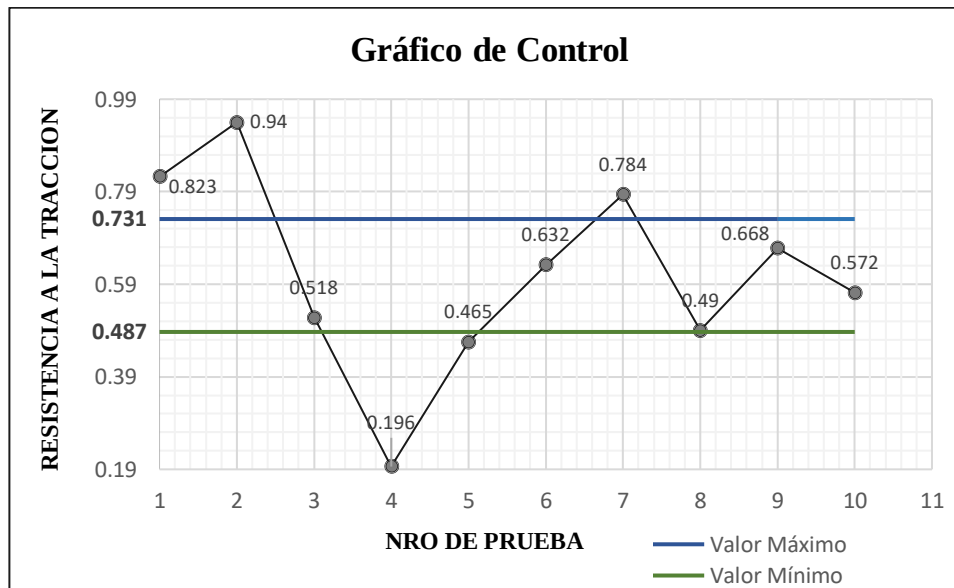
Tabla II-25 Resultados del experimento 8

Nº de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,731 - 0,487](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,823	0,609	0,518	0,576
2	0,940		0,632	
3	0,518		0,490	
4	0,196		0,668	
5	0,465		0,572	
6	0,632		-	
7	0,784		-	
8	0,490		-	
9	0,668		-	
10	0,572		-	

Fuente: Elaboración propia

2.6.23 Experimento 8 - Control de valores dentro del rango de $\pm 20\%$ del valor medio

Figura 2-9: Gráfico de control prueba 8



Fuente: Elaboración propia

2.7 Resultados de los 8 experimentos en la matriz de experimentos

Tabla II-26 Resultados de los 8 experimentos en la matriz de experimentos

N.º de Experimento	a _{ij}	b _{ij}	c _{ij}	Arena (gr)	Cemento Portland IP-30 (gr)	Celulosa (gr)	Respuesta Adherencia (MPa)
1	-	-	-	745,800	250	4,200	0,904
2	+	+	+	650,250	344,400	5,350	0,957
3	+	-	-	650,250	250	4,200	1,089
4	-	+	+	745,800	344,400	5,350	0,923
5	+	+	-	650,250	344,400	4,200	0,880
6	-	+	-	745,800	344,400	4,200	0,886
7	+	-	+	650,250	250	5,350	0,817
8	-	-	+	745,800	250	5,350	0,576

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados de la *Adherencia inicial*, se procedió a la selección del experimento más óptimo, el experimento más optimo fue la dosificación N°3, fue el que obtuvo una adherencia más alta que las otras dosificaciones. Dicho experimento fue sometido a pruebas de *inmersión en agua y exposición a tiempos abiertos*.

- *Prueba de inmersión en agua*
- *Tiempos abiertos de 5, 10, 20, y 30 minutos.*

Al igual que para los anteriores ensayos, para las presentes pruebas también "se realizaron una selección y expresión de resultados como indica la norma de referencia NB 127004:2013 (Para tiempos abiertos) y NB 127006:2013 (Para prueba de inmersión en agua)". Ver Anexo B

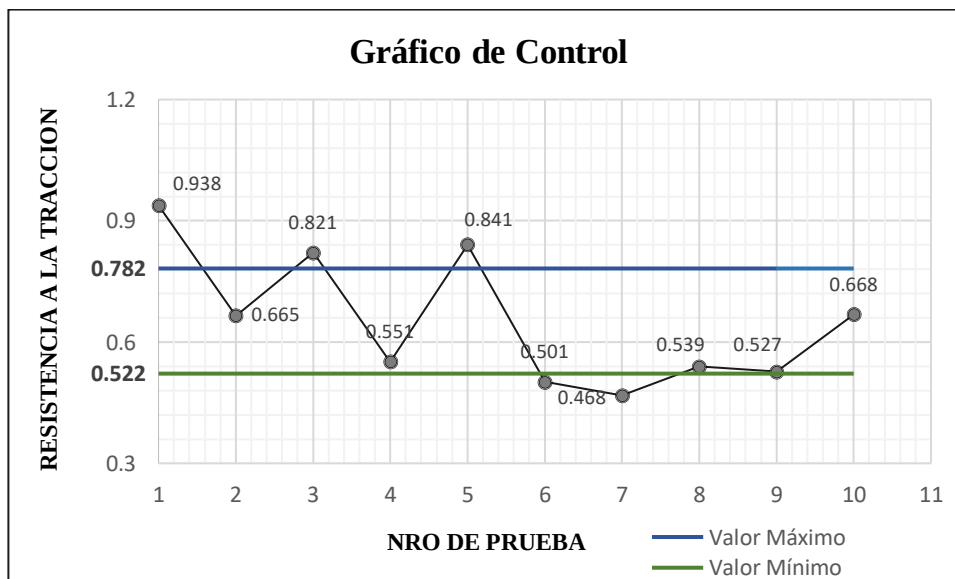
2.8 Prueba de Adherencia después de inmersión en agua

Tabla II-27 Selección y evaluación para la prueba de inmersión en agua

N.º de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,782 - 0,522](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,938	0,652	0,665	0,590
2	0,665		0,551	
3	0,821		0,539	
4	0,551		0,527	
5	0,841		0,668	
6	0,501		-	
7	0,468		-	
8	0,539		-	
9	0,527		-	
10	0,668		-	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10: Grafico de control Adherencia después de inmersión en agua



Fuente: Elaboración propia

2.9 Pruebas para tiempos abiertos de 5, 10, 20, y 30 minutos

Para un tiempo abierto de 5 minutos el procedimiento es el mismo que el procedimiento de la adherencia inicial, según indica la norma boliviana NB 127004:2013 (Tiempo abierto), y NB 127006:2013 (Adherencia inicial), por lo que el procedimiento y los resultados fueron los mismos: Ver Anexo C

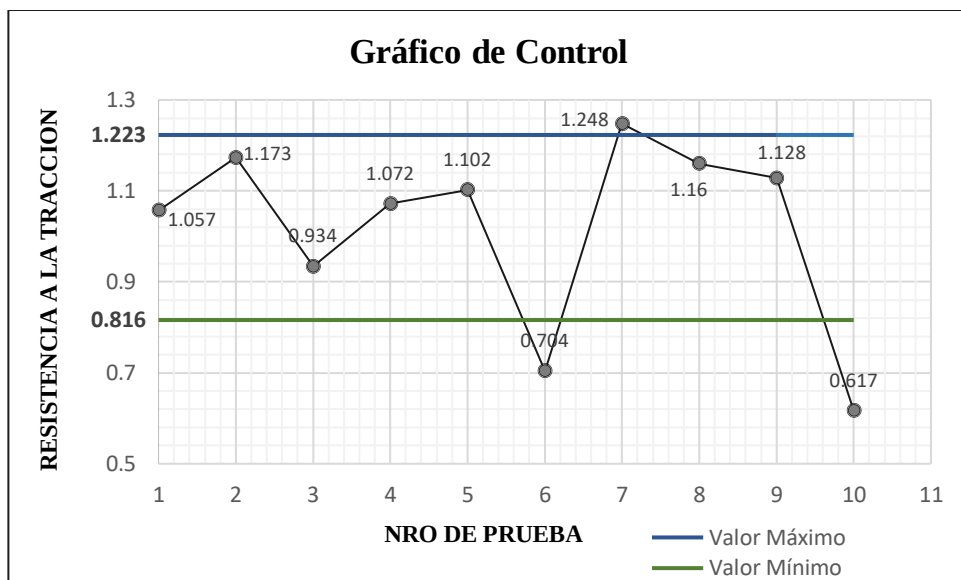
Tiempo abierto de 5 minutos

Tabla II-28 Selección y evaluación de resultados para tiempo abierto de 5 min

N° de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [1,223 - 0,816](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	1,057	1,020	1,057	1,089
2	1,173		1,173	
3	0,934		0,934	
4	1,072		1,072	
5	1,102		1,102	
6	0,704		1,160	
7	1,248		1,128	
8	1,160		-	
9	1,128		-	
10	0,617		-	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-11: Grafico de control Tiempo abierto de 5 min



Fuente: Elaboración propia

Tiempo abierto de 10 minutos:

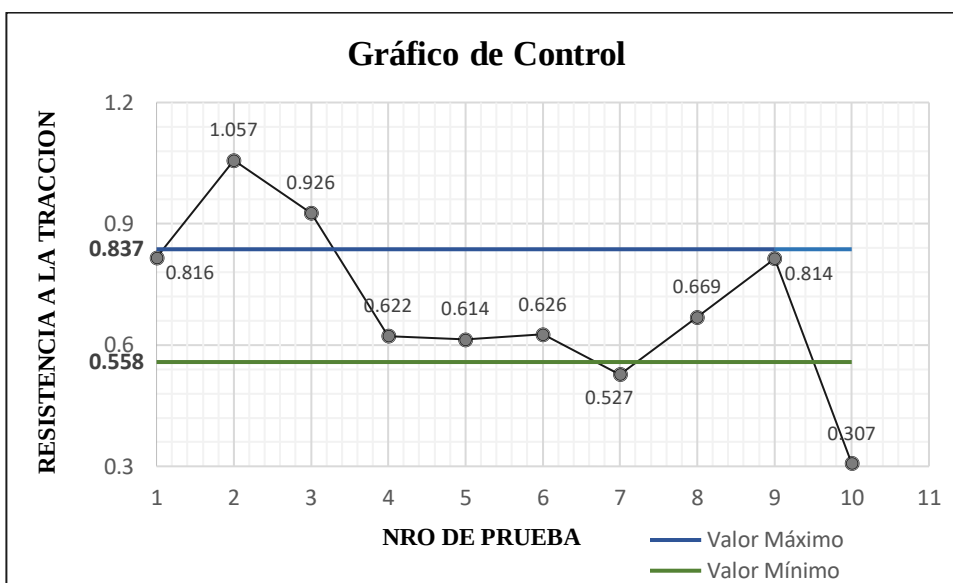
Tabla II-29 Selección y evaluación de resultados para tiempo abierto de 10 min

N.º de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,837 - 0,558](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,816	0,698	0,816	0,694
2	1,057		0,622	
3	0,926		0,614	
4	0,622		0,626	
5	0,614		0,669	
6	0,626		0,814	
7	0,527		-	
8	0,669		-	

9	0,814		-	
10	0,307		-	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-12: Grafico de control Tiempo abierto de 10 min



Fuente: Elaboración propia

Tiempo abierto de 20 minutos

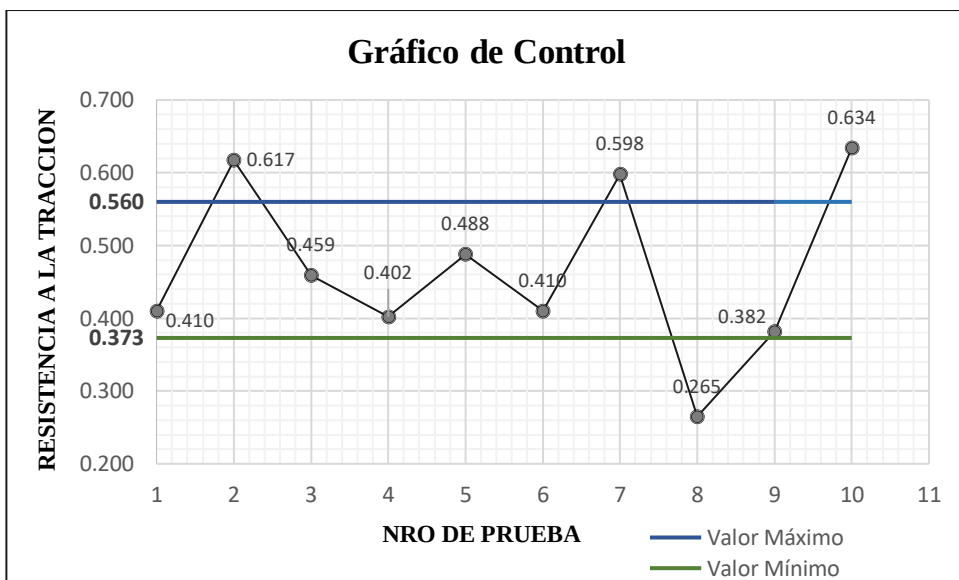
Tabla II-30 Selección y evaluación de resultados para tiempo abierto de 20 min

N.º de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,560 – 0,373](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,410	0,467	0,410	0,425
2	0,617		0,459	
3	0,459		0,402	
4	0,402		0,488	
5	0,488		0,410	
6	0,410		0,382	
7	0,598			
8	0,265			

9	0,382			
10	0,634			

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-13: Grafico de control Tiempo abierto de 20 min



Fuente: Elaboración propia

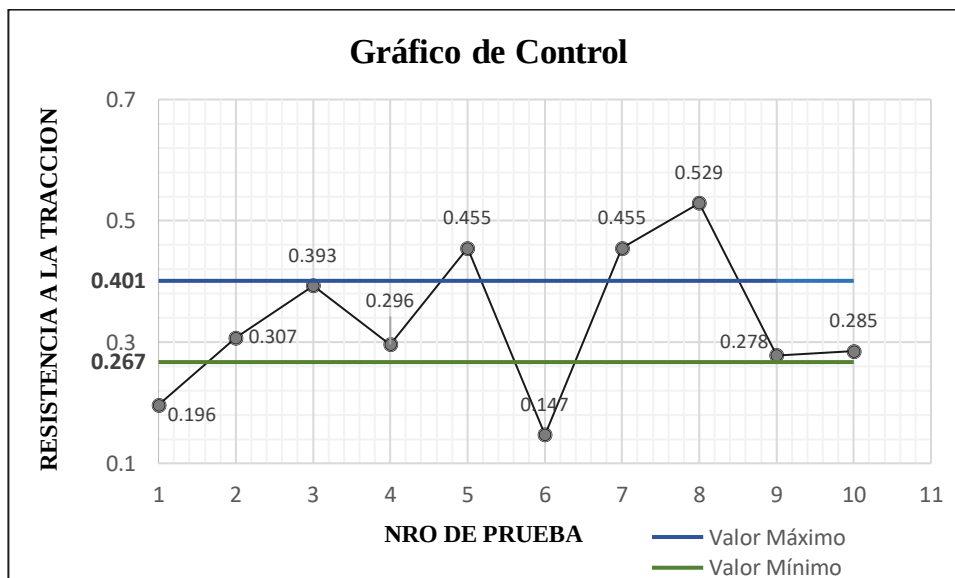
Tiempo abierto de 30 minutos

Tabla II-31 Selección y evaluación de resultados para tiempo abierto de 30 min

N.º de cerámica	Respuesta Adherencia (MPa)	Media (MPa)	Rangos +/- 20% del valor medio [0,401 - 0,267](MPa)	Nuevo valor medio (MPa)
1	0,196	0,334	0,307	0,312
2	0,307		0,393	
3	0,393		0,296	
4	0,296		0,278	
5	0,455		0,285	
6	0,147		-	
7	0,455		-	
8	0,529		-	
9	0,278		-	
10	0,285		-	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-14: Grafico de control Tiempo abierto de 30 min



Fuente: Elaboración propia

2.10 Materiales, equipos y componentes

Materiales

Vasos de precipitados de 500ml y 50 ml

Recipientes

Espátulas

Vidrio reloj o placa petri

Llana dentada

Badilejo

Martillo

Cerámicas de 5cm * 5 cm

Poxipol

Placa de hormigón

Equipos y maquinas

Equipo o máquina de tracción

Balanza eléctrica

Cronómetro

Mezcladora planetaria

Cortadora de cerámica

Insumos

Celulosa

Cemento portland IP-30

Arena

Adhesivo epoxídico

Agua

Se encuentran registrados los registros fotográficos de todos los materiales, equipos y componentes empleados durante la parte experimental del proyecto. Ver anexo D

2.11 Especificación técnica de los equipos y maquinas

Especificación técnica de los equipos y maquinas. Ver anexo E

2.12 Fabricación de placas de hormigón

Para comenzar se realizó las placas de hormigón ya que será sobre estas placas de hormigón las pruebas de adherencia del cemento cola tipo C1. Ver Anexo A

Las dimensiones del molde para las placas de hormigón se las elaboró con las dimensiones de: Longitud 55 cm, altura 30 cm, ancho 3,7 cm, con una relación conglomerante y árida de 1:3,4 en masa, y una relación agua/ cemento de 0,4 en masa, se tomaron las dimensiones de longitud 55 cm, altura 30 cm, ancho 3,7 cm, las dimensiones de las placas de hormigón fueron las mismas que las de los moldes.

Las placas de hormigon secaron por un lapso de tiempo de 90 días, sin embargo las placas ya podian ser desmoldadas en la primera semana.

El desmoldeo se realizó sin ningun agente de desmoldeo.

2.13 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE CEMENTO COLA TIPO C1 A ESCALA LABORATORIO (Para determinación de Adherencia inicial)

Para comenzar se indican las cantidades requeridas para la elaboración del cemento cola tipo C1 seleccionado:

Arena: 650,25 gr

Cemento Portland IP-30 (cemento el Puente): 250 gr

Celulosa: 4,2 gr

Agua: 240 ml

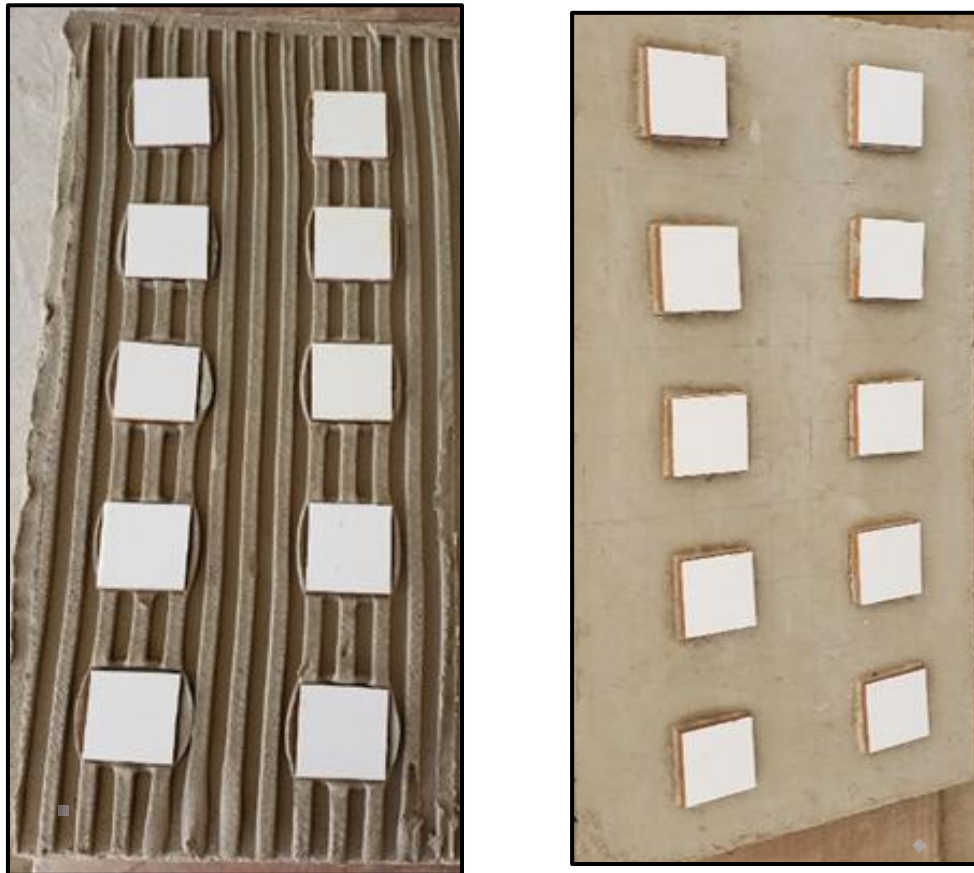
1.- Para comenzar, se pesó 650,25 gr de arena, 250 gr de cemento Portland IP-30 y 4,2 gr de celulosa, tras pesarlos, se mezcló en seco en un recipiente.

2.- Luego, en la mezcladora, se añadió primero 240 ml de agua y gradualmente la mezcla seca. Se mezcló durante 30 segundos, se retiró y se raspó la pala de amasado durante 1 minuto, y se volvió a mezclar por otro minuto para asegurar homogeneidad.

3.- A la placa de hormigón se aplicó una capa delgada del adhesivo con una paleta o badilejo, seguidamente se aplicó una capa más gruesa y se peinó con una llana dentada, la llana dentada se mantuvo formando un ángulo aproximado de 60° con el soporte en ángulo recto con el borde de la placa.

4.- Se esperó 5 minutos y, seguidamente, se colocaron 10 cerámicas de 5 cm x 5 cm. Se aplicó presión manual en cada cerámica (según la indicación del fabricante), durante aproximadamente 30 segundos para adherirlas con el adhesivo. Cabe mencionar que, aunque se recomienda aplicar una carga de 20 N para este procedimiento, no se contó con el equipo necesario para medir dicha carga. Por lo tanto, se utilizó presión manual como alternativa con guía del fabricante de cemento cola.

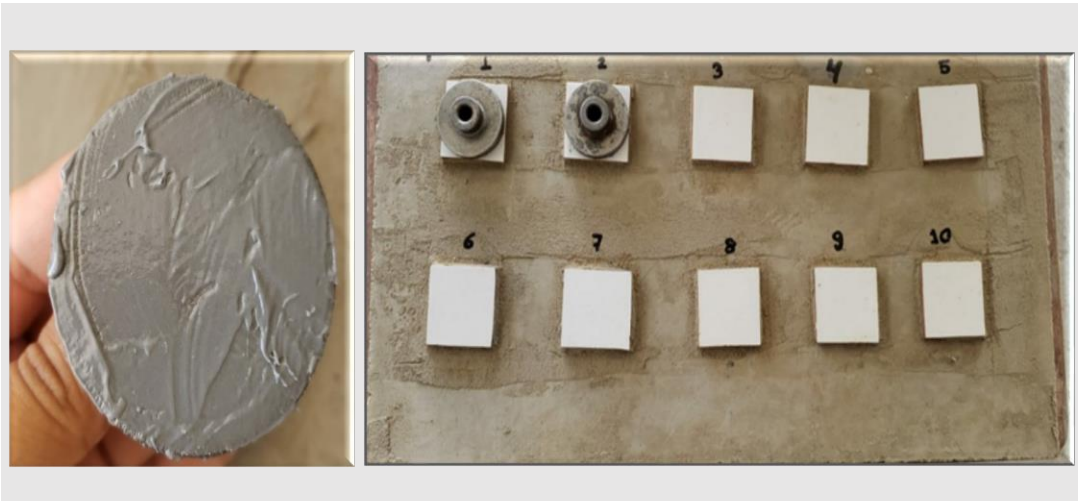
Fotografía 2-1 Aplicación del cemento cola tipo C1 elaborado en placas de cerámicas para prueba de adherencia inicial



Fuente: Elaboración propia

5.- Después de 27 días de almacenamiento se pegaron los cabezales de tracción a las cerámicas mediante un adhesivo epoxi.

Fotografía 2-2 Pegado de cabezales de tracción



Fuente: Elaboración propia

6.- Después veinticuatro horas se procedió a medir la resistencia a la tracción del adhesivo de cada una de las 10 placas de cerámica de 5cm*5cm, ejercido con el aparato de tracción o también llamado probador de adherencia el cual fue calibrado antes de realizar las pruebas de tracción por el fabricante para poder obtener resultados más precisos al realizar las pruebas de tracción. El despegue del cabezal de tracción de la cerámica, se realizó sumergiendo únicamente la superficie del cabezal que contiene los restos de cerámica y adhesivo epoxídico en agua tibia o fría durante un mínimo de 30 a 60 minutos.

Posteriormente, con la ayuda de un martillo, se desprendió la cerámica del cabezal de tracción. A continuación, se limpió el cabezal de tracción y se secó con un trapo, dejándolo limpio y listo para realizar las demás pruebas de tracción.

Figura 2-15 Rotura que realiza el Equipo de tracción



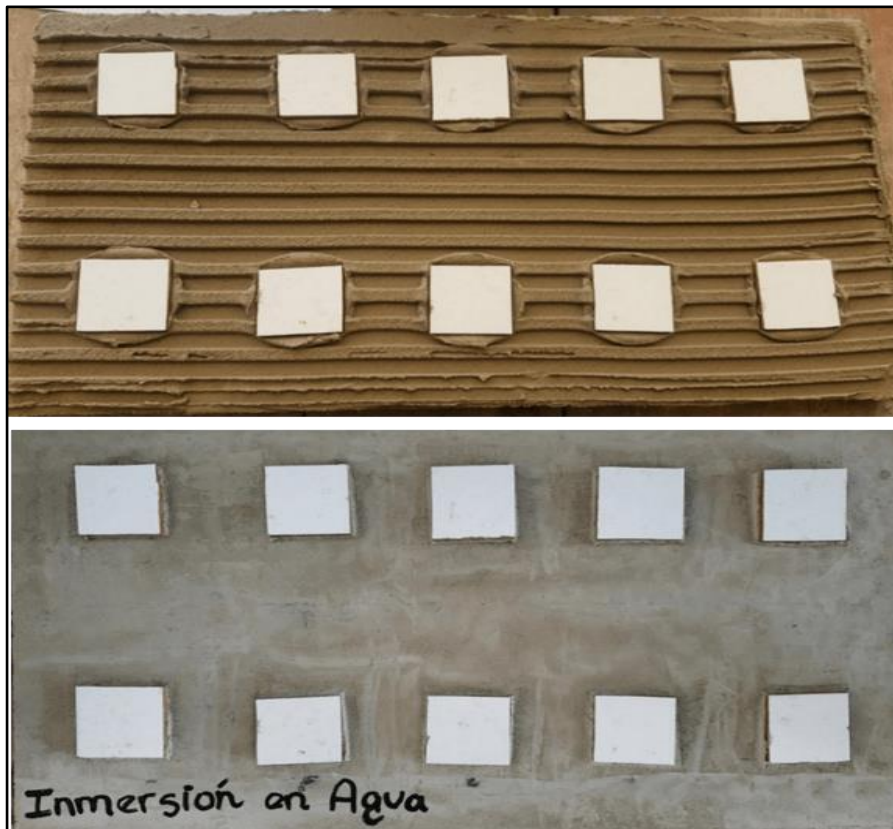
Fuente: Elaboración propia

2.14 Procedimiento para realizar el ensayo de prueba de adherencia después de inmersión en agua

Pesar 650,25 gr de arena, 250 gr de cemento Portland IP-30 y 4,2 gr de celulosa, tras pesarlos, mezclar en seco en un recipiente. Luego, en la mezcladora, añadir primero los 240 ml de agua y gradualmente la mezcla seca. Mezclar durante 30 segundos, y retirar y raspar la pala de amasado durante 1 minuto, y volver a mezclar por otro minuto para asegurar homogeneidad.

A la placa de hormigón aplicar una capa delgada del adhesivo con una paleta o badilejo, seguidamente aplicar una capa más gruesa peinar con una llana dentada, la llana dentada mantener formando un ángulo aproximado de 60° con el soporte en ángulo recto con el borde de la placa, esperar 5 minutos y seguidamente colocar 10 cerámicas de 5cm* 5 cm y aplicar presión en cada cerámica por aproximadamente 30 segundos para adherir las cerámicas con el adhesivo.

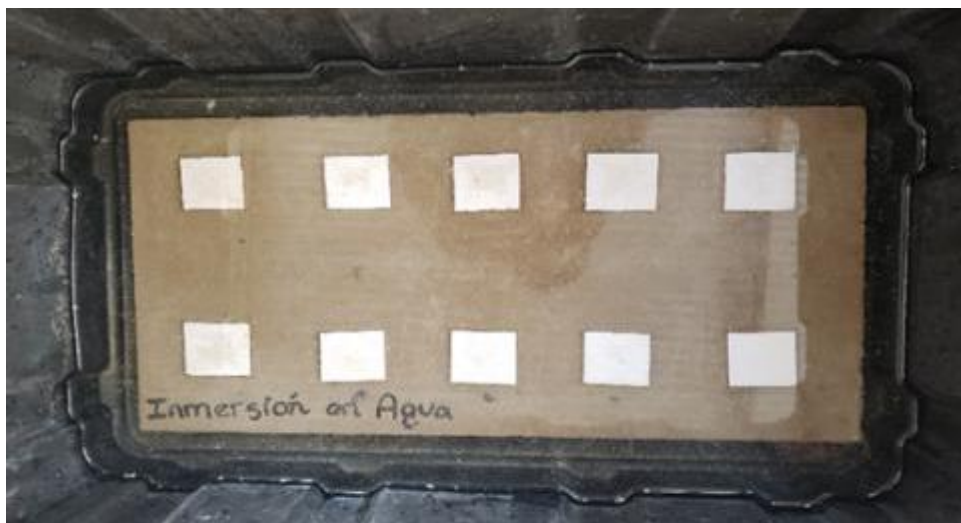
Figura 2-16 Aplicación de pegado del cemento cola tipo C1 para prueba de inmersión en agua



Fuente: Elaboración propia

Almacenar la probeta durante 7 días, después de los 7 días de almacenamiento la probeta debe estar limpia y seguidamente sumergir en agua a temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, la probeta debe estar completamente sumergida en el agua y el agua tiene que estar limpia.

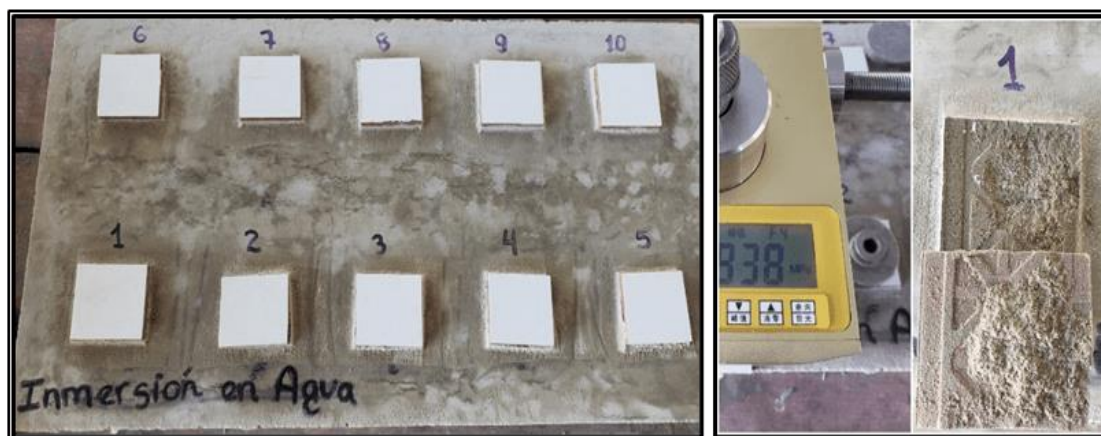
Figura 2-17 Probeta sumergida en agua para prueba de inmersión en agua



Fuente: Elaboración propia

Tras 20 días, se sacaron las probetas del agua, se secaron con trapo y se pegaron los cabezales de tracción a las cerámicas, y se procedió a medir la resistencia a tracción con la máquina de tracción.

Figura 2-18 Secado de la probeta de inmersión en agua y medición de la adherencia



Fuente: Elaboración propia

2.15 Parámetros de control de calidad del cemento cola tipo C1

Los parámetros de control de calidad que se tomó en cuenta para el presente proyecto fueron: La adherencia inicial y la prueba en inmersión en agua, sin embargo, también se realizó los ensayos de tiempos abiertos para determinar el intervalo máximo de tiempo durante el cual las cerámicas pueden ser colocadas sin perder su adherencia del cemento cola tipo C1 elaborado.

Para lograr obtener un cemento cola de calidad también es importante, que cuando se pegue o fije baldosas cerámicas con el cemento cola tipo C1, se logre conseguir uniformidad en los resultados de adherencia o resistencia a la tracción.

Por tanto, se determinó considerar los siguientes parámetros de calidad, todos estos se encuentran en la norma boliviana NB 127002(año 2013):

- ❖ Adherencia inicial
- ❖ Adherencia después de inmersión en agua
- ❖ Tiempos abiertos

Se consideró también otros 2 parámetros de control de calidad que es una forma adicional de interpretar la calidad de adherencia del cemento cola tipo C1:

- ❖ Tipos de rotura
- ❖ Uniformidad en los resultados de adherencia o resistencia a la tracción

Tabla II-32 Parámetros de control de calidad para el cemento cola tipo C1

Parámetros de control de calidad para el cemento cola tipo C1		
Características	Requisito	Método de ensayo
Adherencia inicial	$\geq 0,5$ MPa	NB 127006:2013
Adherencia después de inmersión en agua	$\geq 0,5$ MPa	NB 127006:2013
Tiempo abierto	$\geq 0,5$ MPa	NB 127004:2013
Tipo de rotura	Rotura adhesiva AF-S Rotura adhesiva AF-T Rotura cohesiva CF-A	NB 127002:2013
Uniformidad en la Adherencia	Uniformidad en la Adherencia dentro del valor $\geq 0,5$ MPa	

Fuente: Elaboración propia en base a NB 127002:2013

2.16 Dimensionamiento de una mezcladora a escala laboratorio

2.16.1 Mezcladora planetaria

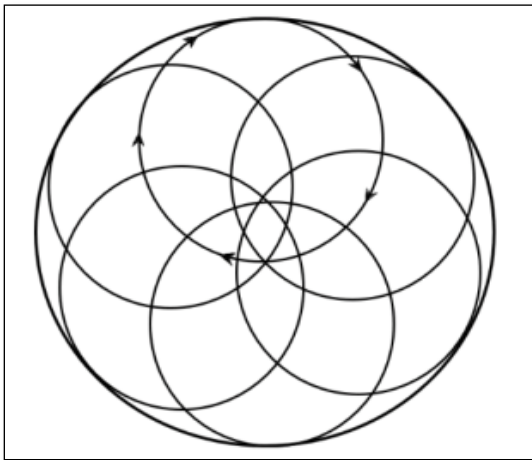
Para el dimensionamiento de una mezcladora planetaria se ha considerado la capacidad de 5 litros ya que es a escala laboratorio y solo para realizar experimentos de muestras pequeñas.

Un mezclador planetario es un tipo de mezclador que se utiliza para mezclar, y homogeneizar diversos materiales o componentes, presenta una acción de mezclado planetario giratorio que garantiza un mezclado completo y uniforme.

Las mezcladoras planetarias cuentan con un agitador que se mueve en un patrón que simula la órbita de los planetas, este movimiento consiste en que el batidor gire sobre su propio eje y haga un recorrido circular continuo cercano a las paredes del recipiente, para obtener una mezcla homogénea.

El movimiento que realiza el aditamento modelo B de la mezcladora planetaria se representa como se muestra en la figura de continuación:

Figura 2-19 Movimiento planetario de una mezcladora planetaria



Fuente: Elaboración propia

Parámetros

Según la norma boliviana NB 062:2013 (ver Anexo I) se detallan parámetros a tomar en cuenta para la mezcladora a escala laboratorio:

- Está compuesta de un recipiente de acero inoxidable de 5 litros de capacidad.
- Una paleta de mezcla de tipo B.
- Motor eléctrico
- En posición de partida y durante la marcha, debe haber una distancia no mayor de 2,5 mm, ni menor de 0,8 mm, entre la paleta y el fondo del recipiente, y de no mayor de 4 mm ni menor de 0,8 mm entre la paleta y las paredes laterales.

Necesidad

En el ámbito de la investigación y desarrollo de materiales de construcción, los laboratorios que trabajan con cementos cola y otros tipos de cementos requieren equipos que les permitan realizar dosificaciones precisas y preparar mezclas homogéneas de manera eficiente, y es aquí donde la necesidad de una máquina mezcladora se hace evidente.

Una mezcladora de 5 litros ofrece varias ventajas para este tipo de trabajo de laboratorio. En primer lugar, su diseño permite una mezcla más uniforme y completa

de los materiales. Además, una máquina de esta capacidad es ideal para laboratorios que necesitan preparar pequeñas cantidades de mezcla para pruebas y experimentos. Esto permite a los investigadores preparar múltiples muestras con diferentes proporciones de componentes, lo que es esencial para el desarrollo y la optimización de nuevas fórmulas de cemento cola.

Para los planos que tienen los parámetros indicados por la norma de referencia NB 062:2013. ver Anexo Planos.

Motor eléctrico

Tomando como parte referencia la mezcladora Hobart que se utilizó para realizar las mezclas de los componentes del cemento cola elaborado, según parte del manual del modelo Hobart N-50, para la capacidad de mezcla de 5 litros (que es el requerido por la norma boliviana NB 062:2013) se dispone que el motor para la capacidad de 5 litros tiene los siguientes datos:

Motor eléctrico monofásico de una potencia de 1/6 caballos de fuerza (Hp), motor ventilado, con un consumo de 2.9 Amperios a 100-120V y 1.4 Amperios a 230V, de velocidad regulable y opera a una frecuencia de 50 Hz que es la frecuencia estándar de la red en nuestro sistema nacional, esta frecuencia garantiza su correcto funcionamiento, evitando modificaciones en sus parámetros y asegurando que cumpla con todos sus objetivos.

CAPITULO III

CAPITULO III

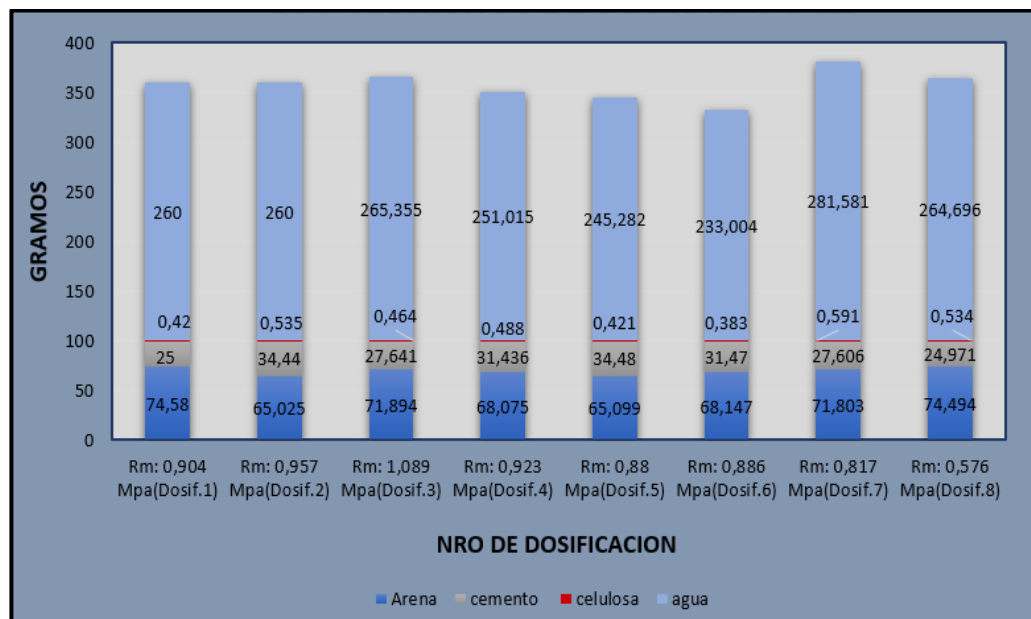
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Discusión de resultados obtenidos de adherencia

Una vez ya seleccionados los resultados obtenidos en las pruebas de tracción según indica la norma de referencia NB 127006:2013 (Determinación de la resistencia a la tracción de los adhesivos cementosos), se tiene que los resultados obtenidos de las 8 dosificaciones fueron mayores al valor de 0,5 MPa que es el valor requerido por la norma Boliviana NB 127002:2013, sin embargo entre todas ellas se seleccionó al de mayor adherencia, (dosificación N°3) debido a que esta dosificación tendría que ser sometida a pruebas de inmersión en agua y tiempos abiertos, pruebas en las cuales la adherencia tiende a disminuir, ya sea por el tiempo abierto o por la inmersión en agua del cemento cola tipo C1.

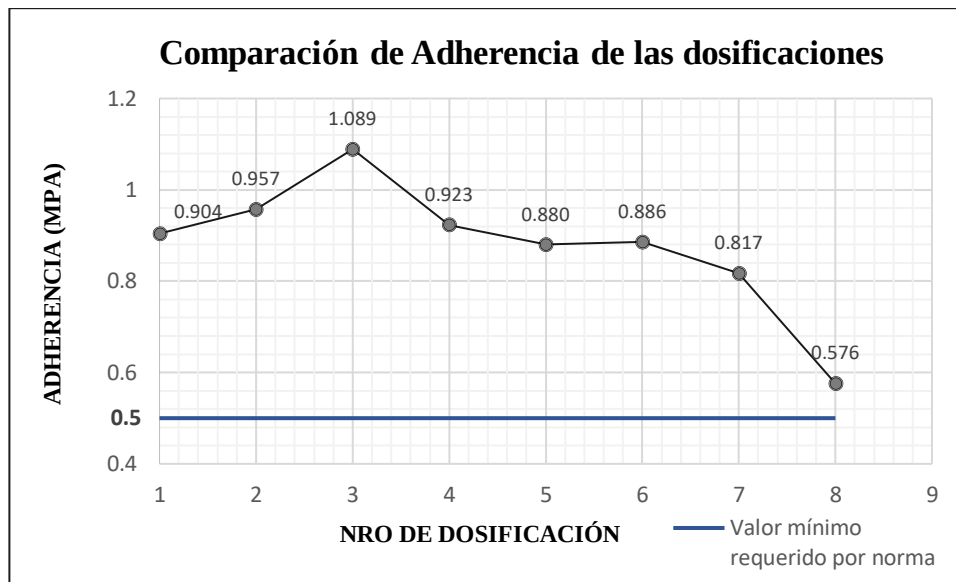
3.2 Comparación de la adherencia inicial de las ocho dosificaciones

Figura 3-1 Dosificaciones y agua añadida en cada dosificación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Comparación de los resultados de Adherencia inicial de las ocho dosificaciones



Fuente: Elaboracion propia

En la Figura 3-2, se presenta una comparación de las ocho dosificaciones obtenidas. Estos resultados indican que la dosificación tres proporciona una mejor adherencia inicial. La composición de esta dosificación es la siguiente: Arena: 71,894%, Cemento: 27,641%, Celulosa: 0,464%.

Por tanto la formulación experimental que se obtuvo en la dosificacacion tres, logra cumplir con las pruebas de:

- Adherencia inicial
- Inmersión en agua
- Tiempos abiertos hasta diez minutos

Tabla III-1 Formulacion de Cemento cola tipo C1

Arena %	Cemento Portland IP-30 %	Celulosa %
71,894	27,641	0,464

Fuente: Elaboración propia

3.3 Estudio y evaluación de las pruebas del cemento cola tipo C1 elaborado

La celulosa es un componente importante dentro del cemento cola ya que aporta trabajabilidad, mejora la adherencia, y los tiempos abiertos.

Para que una formulación de cemento cola tipo C1 logre obtener una buena adherencia o resistencia a la tracción son importantes los siguientes aspectos:

- Una dosificación equilibrada, por ejemplo, en el caso de la celulosa, no necesariamente un aumento de celulosa en la dosificación significa una mejor adherencia, ya que un exceso o una baja cantidad de ésta puede ser no favorable.
- Lograr obtener una masa trabajable, fácil de aplicarla y extenderla, ya que, si la masa está muy fluida, o muy viscosa, o seca no contribuye.

A continuación, se muestra cómo debe presentarse la mezcla de cemento cola tipo C1 con agua, la mezcla se colocó en la placa de hormigón para mejor apreciación.

Fotografía 3-1 Mezcla en proporciones óptimas de cemento cola tipo C1



Fuente: Elaboración propia

Se observó que en las dosificaciones donde se agregaba más del 0,5% de celulosa, la mezcla se volvía más viscosa, un poco más complicado de aplicarla y peinarla, también se observó que con más del 0,5% de celulosa el agregado de agua también se volvía un poco más difícil de llegar a la masa trabajable para ponerla en obra.

Una masa más viscosa y menos trabajable tiende a adherirse más al badilejo y a la llana dentada, su peinado no es tan liso, sino que se forma como grumos o huecos pequeños de aire.

Se pudo observar en las dosificaciones donde el porcentaje de celulosa era más del 0,5% había una diferencia más amplia de variación de adherencia en los diferentes puntos de extendido del cemento cola tipo C1, como se puede observar en los resultados de las dosificaciones nro. 2 y 8.

Cantidades adecuadas, composición equilibrada de sus componentes, en una formulación mejora la adherencia y la trabajabilidad, toda la masa se vuelve más trabajable y fácil de aplicar, con lo cual su adherencia también mejora y se hace más uniforme en diferentes puntos de aplicación de la mezcla.

A continuación, se muestra la tabla especificando el agua agregada por cada kilogramo de dosificación:

Tabla III-2 Tabla de dosificaciones y agua empleada

N° de Dosificación	Agua añadida (ml)	Resistencia (Mpa)	Observaciones
Dosificación 1	260	0,904	Mezcla trabajable
Dosificación 2	260	0,957	Mezcla viscosa, un poco de dificultad para el planchado y peinado
Dosificación 3	265,35	1,089	Mezcla trabajable, fácil planchado y peinado
Dosificación 4	251,015	0,923	Mezcla trabajable, pero un poco seca, poco viscosa
Dosificación 5	245,282	0,880	Mezcla trabajable pero un poco seca
Dosificación 6	233,004	0,886	Mezcla trabajable, pero un poco seca
Dosificación 7	281,581	0,817	Mezcla un poco viscosa, pero trabajable, solo un poco de dificultad al peinado.
Dosificación 8	264,696	0,576	Mezcla viscosa un poco seca, un poco de dificultad para el planchado y peinado

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla para la formulación seleccionada (dosificación 3), el agua empleada por kilogramo de esa dosificación es de 265,35 ml.

Tabla III-3 Agua empleada por kilo de dosificación seleccionada

Arena (gr)	Cemento Portland IP-30 (gr)	Celulosa (gr)	Agua (ml)
718,945	276,411	4,644	265,355

Fuente: Elaboración propia

Se pudo observar que la relación en masa cemento cola tipo C1: agua, debe ser: 1: 3,768 (Cemento cola tipo C1: Agua).

A continuación, se muestra una tabla a detalle de las composiciones y observaciones de las diferentes dosificaciones de 1 kilogramo de cemento cola tipo C1.

Tabla III-4 Dosificaciones resultados y observaciones

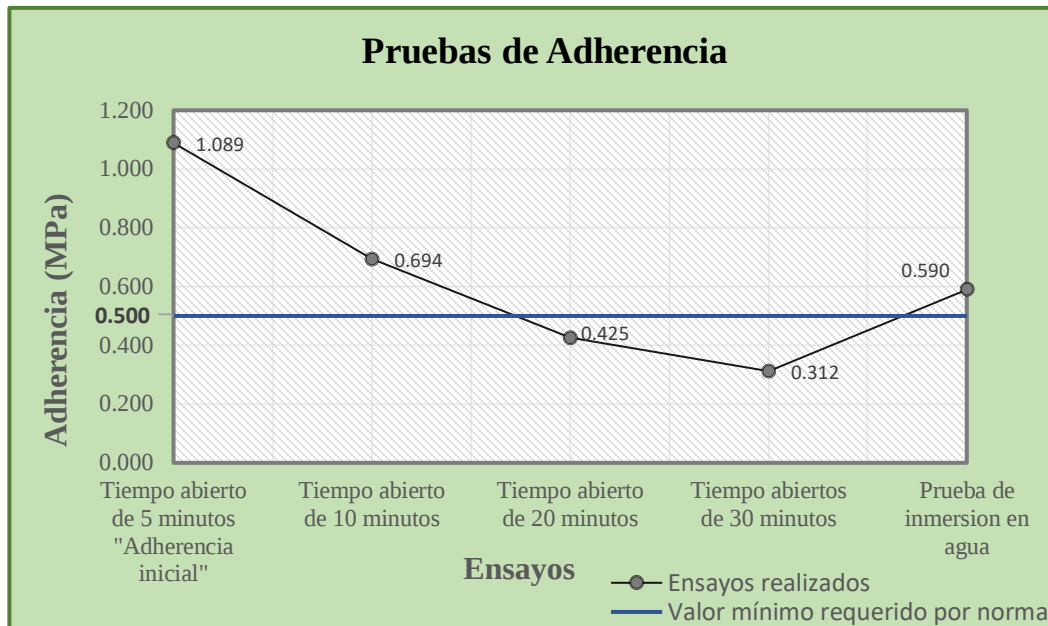
Dosif.	Arena %	Cemento Portland IP-30 %	Celulosa %	Agua añadida (ml)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Observaciones
Nro.1	74,58	25	0,42	260	0,904	Mezcla trabajable.
Nro.2	65,025	34,44	0,535	260	0,957	Mezcla viscosa, un poco de dificultad para el planchado y peinado.
Nro.3	71,894	27,641	0,464	265,355	1,089	Mezcla trabajable, fácil planchado y peinado.
Nro.4	68,075	31,436	0,488	251,015	0,923	Mezcla trabajable, pero un poco seca y viscosa.

Nro.5	65,099	34,48	0,421	245,282	0,88	Mezcla trabajable un poco seca.
Nro.6	68,147	31,47	0,383	233,004	0,886	Mezcla trabajable, pero un poco seca.
Nro.7	71,803	27,606	0,591	281,581	0,817	Mezcla un poco viscosa, pero trabajable, solo un poco de dificultad al peinado.
Nro.8	74,494	24,971	0,534	264,696	0,576	Mezcla viscosa un poco seca, dificultad para el planchado y peinado

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de adherencia inicial, los resultados fueron óptimos, ya que superaron ampliamente lo especificado por la norma de referencia, respecto a los tiempos abiertos se logró obtener una adherencia superior al requerido hasta el tiempo abierto de diez minutos, se pudo observar que para el tiempo abierto de 20 minutos la adherencia estuvo cerca de cumplir con el requisito de 0,5 MPa que indica la norma boliviana NB: 127002:2013, para un tiempo abierto de treinta minutos se presentó una disminución más notable en la adherencia en comparación con la adherencia inicial. Sin embargo, para la prueba de inmersión en agua si se logró obtener una adherencia por encima del valor especificado de 0,5 MPa, en la norma boliviana NB 127002:2013.

Figura 3-3 Comparación de todas las pruebas realizadas al cemento cola tipo C1



Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos, mostrados en la figura 3-3 y con las imágenes de la fotografía 3-2 se puede comprobar y determinar que a medida que transcurre el tiempo, ya sea para 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos, la adherencia del cemento cola tipo C1 va disminuyendo.

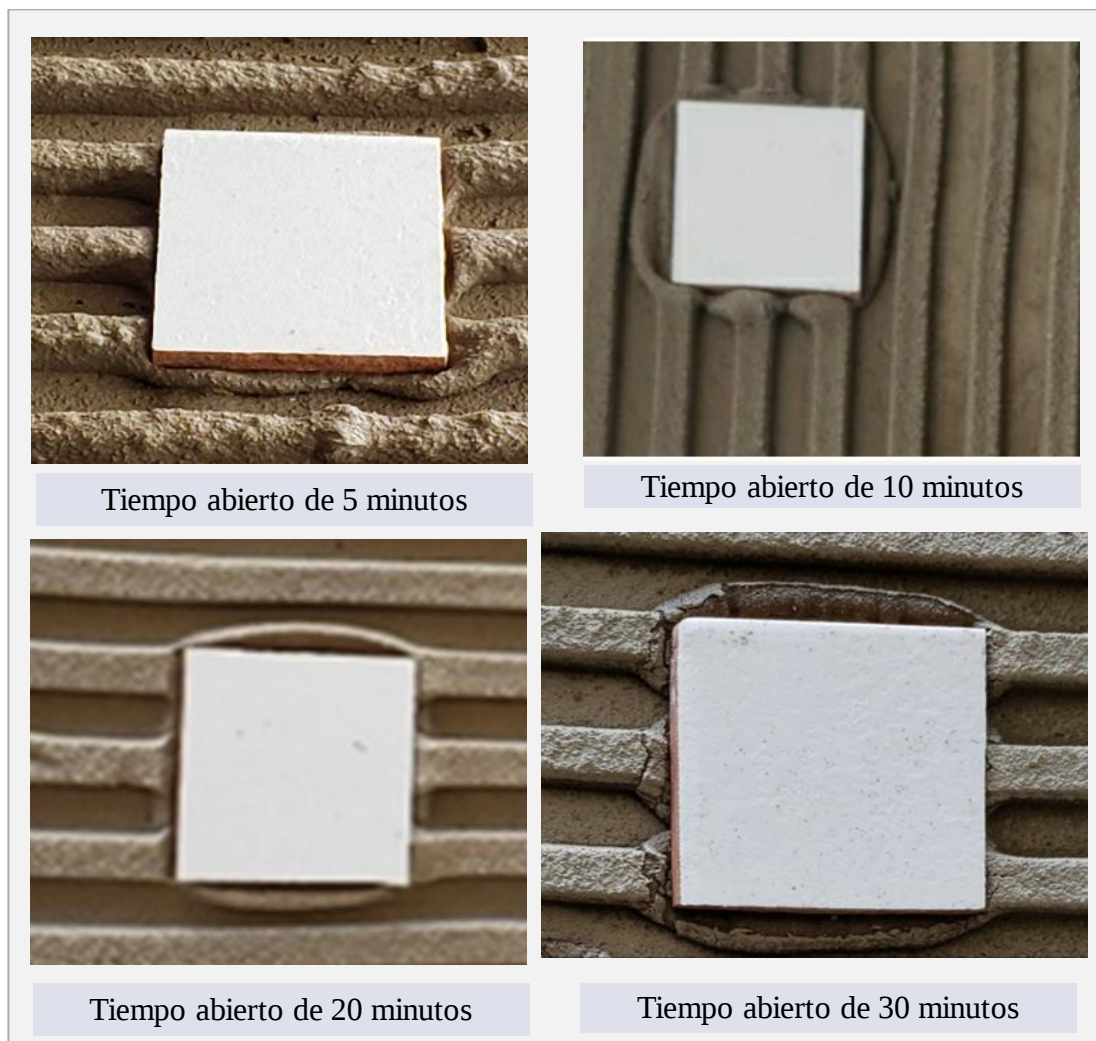
La adherencia del cemento cola tipo C1 disminuye conforme progresa el fraguado y transcurre el tiempo abierto, como se puede observar en la fotografía 3-2.

A medida que transcurre el tiempo abierto, se aprecia cómo la capa superficial del cemento cola comienza a secar a medida que aumenta el tiempo abierto, como se puede observar en la Fotografía 3-2.

Se pudo determinar experimentalmente que los ensayos de tiempos abiertos superiores a diez minutos tienen un mayor impacto en la pérdida de adherencia del cemento cola tipo C1, respecto a la pérdida de adherencia por el ensayo de inmersión en agua, ya que esta última logró superar el valor requerido de 0,5 MPa que indica la norma boliviana NB 127002:2013.

Según el libro “La Química del Cemento y el Concreto” de Sir Frederick Lea, el fraguado de una mezcla de cemento se debe a que la cantidad de material hidratado aumenta rápidamente, lo que provoca una disminución del volumen de la fase líquida. Eventualmente, se desarrolla una red tridimensional continua de sólidos dentro de la pasta, lo que está asociado con la pérdida de su deformabilidad ilimitada, es decir, la pasta se fragua, a medida que transcurre el tiempo.

Fotografía 3-2 Pérdida adherencia del cemento cola a medida que transcurre el tiempo para 5, 10, 20, 30 minutos



Fuente: Elaboración propia

3.4 Clasificación de los tipos de rotura

Tabla III-5 TIPOS DE ROTURA

TIPOS DE ROTURA		
Nombre	Denominación	Rotura
Rotura adhesiva	(AF-S)	Entre el adhesivo y el soporte
Rotura adhesiva	(AF-T)	Entre el adhesivo y la cerámica
Rotura adhesiva	(BT)	Entre la cerámica y el cabezal de tracción
Rotura cohesiva	(CF-A)	En el adhesivo
Rotura cohesiva	(CF-S)	En el soporte
Rotura cohesiva	(CF-T)	En la cerámica

Fuente: Elaboración propia

3.5 Evaluación y análisis al tipo de rotura del cemento cola tipo C1 a escala laboratorio elaborado

Tabla III-6 Evaluación y análisis al tipo de rotura del cemento cola tipo C1 a escala laboratorio elaborado

Ensayo	Tipo de Rotura Predominante
Adherencia inicial	Rotura cohesiva en el adhesivo (CF-A).
Tiempo abierto de 5 minutos	Rotura cohesiva en el adhesivo (CF-A).
Tiempo Abierto de 10 minutos	Rotura cohesiva en el adhesivo (CF-A).
Tiempo Abierto de 20 minutos	Rotura adhesiva (AF-T) es la principal en cada placa y en general

Tiempo Abierto de 30 minutos	Rotura adhesiva (AF-T) es la principal en cada placa y en general
Inmersión en Agua	Rotura adhesiva AF-T.

Fuente: Elaboración propia

Para todas las roturas en las pruebas realizadas se obtuvieron resultados aceptados por la norma de referencia norma boliviana NB 127002:2013 (Ver Anexo G), ya que todas las roturas registradas se clasificaron en dos categorías: Cohesivas CF-A (roturas cohesivas en el adhesivo) y roturas adhesivas AF-T (rotura entre la cerámica y el adhesivo).

CAPITULO IV

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Concluido el presente trabajo de investigación de formulación de cemento cola tipo C1 a partir de cemento portland IP-30 a escala laboratorio, se hace posible concluir los siguiente:

Se elaboró y seleccionó una formulación de cemento cola tipo C1 a escala laboratorio que cumpla con los requisitos de obtener una resistencia a la tracción mayor o igual a 0,5 MPa como indica en la norma boliviana NB 127002: 2013 de adherencia inicial.

Formulación de cemento cola tipo C1:

- Arena: 71,894 %
- Cemento Portland IP-30: 27,641 %
- Celulosa: 0,464 %

Se estableció que, por cada kilogramo de esta formulación, el agua requerida es de 265,355 ml, para poder obtener una mezcla trabajable y fácil de aplicar, ya que una mezcla muy fluida, seca o viscosa no mejora la adherencia del cemento cola tipo C1.

Donde la formulación obtenida cumplía con los siguientes ensayos:

Adherencia inicial: 1,089 MPa

Prueba de inmersión en agua: 0,590 MPa

Tiempo abierto de 5 minutos: 1, 089 MPa

Tiempo abierto de 10 minutos: 0,694 MPa

Se logró que todos estos ensayos mencionando cumplan el valor de 0,5 MPa indicado en la norma boliviana NB 127002:2013, siendo este el objetivo general del proyecto de investigación realizado.

- ✓ Se obtuvo a nivel laboratorio el procedimiento para la elaboración de cemento cola tipo C1.
- ✓ Con la máquina de tracción o probador de adherencia se pudo medir y verificar el valor de la resistencia a la tracción del cemento cola tipo C1 en Megapascuales, la medida de adherencia o resistencia a la tracción para pruebas de Adherencia inicial, Inmersión en agua y tiempos abiertos para hasta diez minutos, superó el valor establecido de 0,5 MPa por la norma de referencia NB 127002:2013.
- ✓ Una vez realizada la parte experimental del proyecto y obtenido los resultados de la resistencia a la tracción de las pruebas de adherencia inicial, inmersión en agua y tiempos abiertos se pudo realizar la comparación de la resistencia a la tracción de los ensayos realizados, y de los valores que indican la norma boliviana NB 127002:2013. Donde se puede apreciar que el cemento cola tipo C1 elaborado cumple con los valores que indica la norma boliviana NB 127002:2013, para ensayos de adherencia inicial, prueba de inmersión en agua y tiempos abiertos hasta diez minutos.

Tabla IV-1 Comparación de resultados de ensayos realizados con los valores requeridos por norma

Ensayo	Resultado de ensayo obtenido (MPa)	Resultado de NB 127002:2013 (MPa)
Adherencia inicial	1,089	$\geq 0,5$
Prueba de inmersión en agua	0,590	$\geq 0,5$
Tiempo abierto de 5 minutos	1, 089	$\geq 0,5$

Tiempo abierto de 10 minutos	0,694	$\geq 0,5$
Tiempo abierto de 20 minutos	0,425	$\geq 0,5$
Tiempo abierto de 30 minutos	0,312	$\geq 0,5$

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Con la investigación realizada y al momento de desarrollar la parte experimental y de ver los resultados obtenidos se determinó los parámetros a tomar en cuenta para el control de calidad del cemento cola tipo C1, de acuerdo a la norma boliviana NB 127002:2013. Los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

Adherencia inicial: Mayor o igual a 0,5 MPa.

Prueba de inmersión en agua: Mayor o igual a 0,5 MPa.

Tiempos abiertos: Hasta diez minutos, mayor o igual a 0,5 MPa.

Tipos de rotura: Se observó que un tipo de rotura cohesivo representa una mejor adherencia.

Uniformidad en la adherencia: Se observó que la uniformidad en los resultados de adherencia o resistencia a la tracción dentro del valor indicado por la norma NB127002 de 0,5 MPa, es importante, ya que eso demuestra un buen equilibrio en la dosificación lo cual significa que habrá una adherencia uniforme, y no se producirá un desprendimiento irregular de la cerámica

- ✓ Se determinó y se describió los aditivos necesarios para elaborar cemento cola tipo C1, siendo el único aditivo utilizado la celulosa, ya que la celulosa en todas las referencias encontradas es el aditivo indispensable en la elaboración de cemento cola y porque empresas con la mencionada Mathiesen indican que la

celulosa es el aditivo principal para la elaboración de cemento cola y que otros aditivos son complementarios y usados para características específicas.

- ✓ Las materias primas del cemento cola tipo C1 son: el cemento portland IP-30, la arena y la celulosa, se aseguró que la arena y el cemento portland sean producidas en el departamento de Tarija para que en lo posible al momento de elaborar este producto sea para beneficio de esta región, cumpliendo el cemento portland IP-30 (cemento el puente) utilizado con la adherencia de 30 MPa a 28 días según la norma boliviana NB 011:2012, con un peso específico es de 3,069 gr/cm³, con un tiempo de fraguado inicial de 168,8 minutos y tiempo de fraguado final de 4,51 horas. La arena utilizada se obtuvo del valle central de Tarija, se determinó que el tamaño de la arena es de 0,149 mm ya que esta pasó por la malla nro. 100, la arena presentaba una forma redondeada y aportaba trabajabilidad a la mezcla con agua del cemento cola tipo C1, la celulosa empleada estaba en forma de solido polvo, presentaba, color blanco, inodoro e insípido, insoluble en agua y de estructura fibrosa.
- ✓ Se realizó el diseño dimensional de un mezclador para la elaboración de cemento cola tipo C1 a escala laboratorio.

Evaluación y conclusión de los ensayos principales requeridos para garantizar la calidad del cemento cola tipo C1

La superación de los ensayos de prueba inicial y prueba de inmersión en agua, son el mínimo que establece ANFAPA y el Anexo ZA de la UNE EN 12004, para garantizar una adecuada colocación de recubrimientos cerámicos en interiores, por lo cual aparte de cumplir los tiempos abiertos de 5 y 10 minutos, el cemento cola elaborado logró cumplir con los dos ensayos de requisito fundamental de adherencia inicial y prueba de inmersión en agua.

Capacidades que posee el cemento cola tipo C1 elaborado

- ✓ Por tanto, se concluye que el cemento cola tipo C1 elaborado es apto para revestimiento de interiores sobre todo para pisos, cumple el requisito de 0,5

MPa establecido por la norma de referencia NB 127002, para adherencia inicial y tiempos abiertos de hasta diez minutos.

- ✓ El cemento cola tipo C1 elaborado también es apto y conserva su adherencia por encima del valor de 0,5 MPa indicado por la norma boliviana NB 127002: 2013, para prueba de inmersión en agua.
- ✓ Buena trabajabilidad y fácil de aplicarlo cuando se mezcla con la cantidad de agua de 265,355 ml.

La consistencia de la mezcla de cemento cola debe ser cremosa fácil de aplicar, ya que si la mezcla está muy viscosa, seca o muy fluida su aplicación no se realizará con la misma facilidad y una característica que tiene este cemento cola es su fácil aplicación y su uniformidad al momento de aplicarlo, extenderlo y peinarlo.

Conclusión respecto a los tipos de rotura

Respecto al tipo de rotura para concluir se determina que una rotura cohesiva CF-A (rotura cohesiva en el adhesivo) representa una mejor adherencia del cemento cola, ya que a medida que se pierde la adherencia o disminuye la fuerza de tracción para las diferentes pruebas, la rotura se va volviendo en una rotura adhesiva AF-T (rotura entre la cerámica y el adhesivo) o rotura adhesiva entre el adhesivo y el soporte AF-S.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo también, con el propósito de establecer una base para futuras investigaciones e innovaciones en el campo de los productos de cemento cola, dado que existe una escasez de investigaciones y referencias en este ámbito, este trabajo busca contribuir al conocimiento y desarrollo de nuevos y mejorados productos de cemento cola.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda que las superficies de los cabezales de tracción, placas de hormigón y placas de cerámicas estén limpias, secas y libres de polvo, aceite u otros contaminantes antes de aplicar el cemento cola elaborado y el adhesivo epoxídico, también se recomienda aplicar el cemento cola y realizar el peinado con la llana dentada como indica la norma de referencia ya que el uso de esta llana dentada mejora la adherencia del cemento cola y la cerámica.

Uno de los pasos más complicados es el despegue de los cabezales de tracción de la cerámica, debido a que el pegado se realiza con un adhesivo epoxídico, por lo que se recomienda y se comprobó que es mucho más sencillo dejar los cabezales en agua no importa si es agua tibia o fría a temperatura ambiente, antes de realizar el despegue por el lapso de una hora eso permite que el despegue sea más sencillo. Para futuras investigaciones o mejoras del producto, se recomienda realizar ensayos pruebas de adherencias después de envejecimiento por calor y adherencia de ciclo de hielo y deshielo.