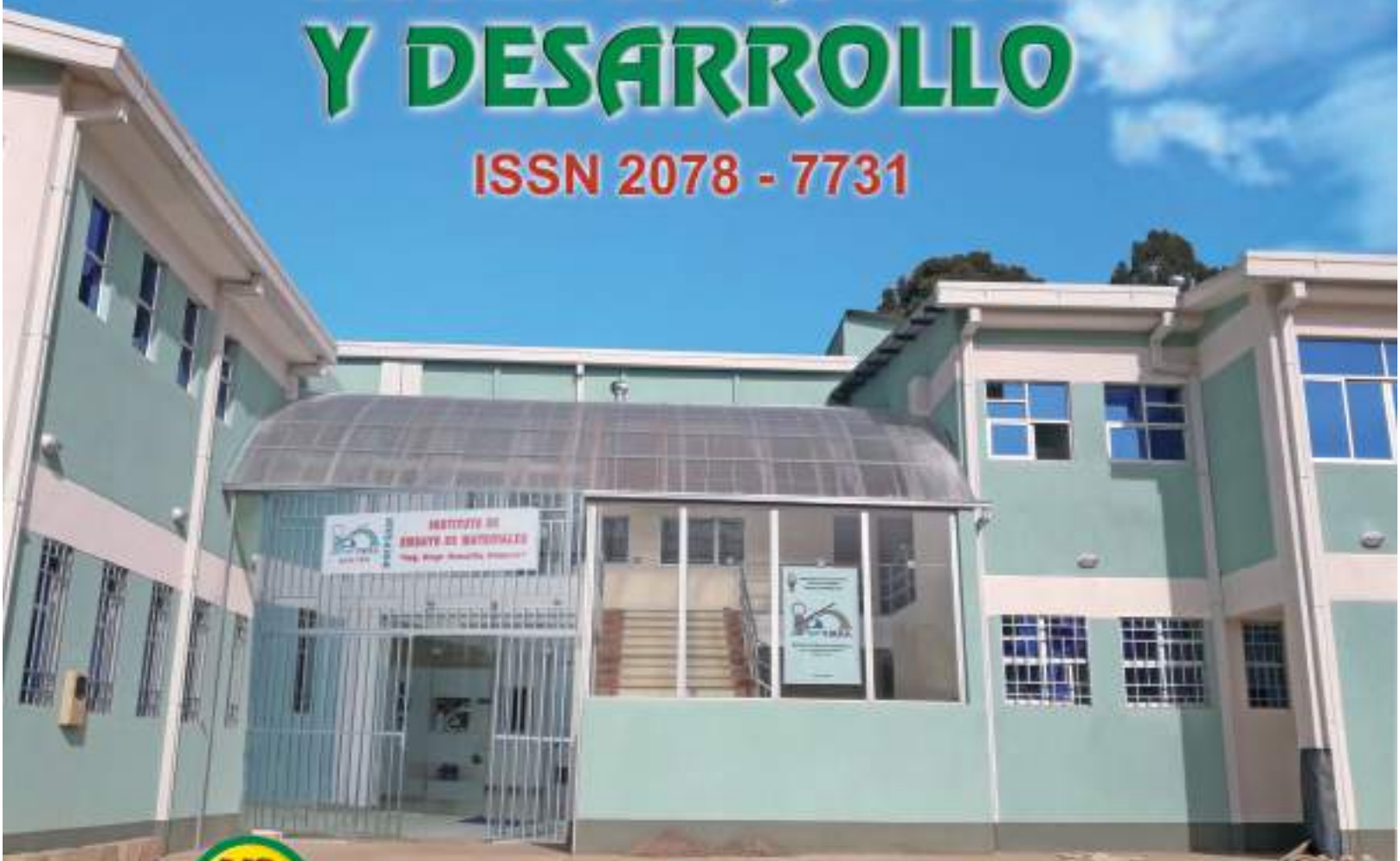
# Revista del Instituto de Ensayo de Materiales

# INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

ISSN 2078 - 7731



Nº 11

La Paz - Bolivia, Diciembre de 2017

# INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

## MISIÓN

Planificar, ejecutar y evaluar programas académicos y proyectos, tanto de investigación y desarrollo científico, tecnológico y humanístico, como de interacción social, en las áreas relacionadas con las estructuras, la geotecnia y los materiales de construcción.

## VISIÓN

Ser el Instituto acreditado, con infraestructura, equipamiento y personal suficientes para realizar las actividades académicas de apoyo a la Carrera de Ingeniería Civil, Investigaciones pertinentes e interacción social en el campo de la construcción, acorde a las necesidades locales y nacionales.

## PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN GESTIÓN 2017

| Nº | TITULO | AREA |
|---|---|---|
| 1 | Estudio de adhesivos cementosos elaborados con cemento Viacha y adición de bentonita, para baldosas cerámicas | MATERIALES |
| 2 | Estudio de adhesivos cementosos elaborados con cemento Fancesa y adición de bentonita, para baldosas cerámicas | MATERIALES |
| 3 | Estudio de la adherencia después de envejecimiento por calor de adhesivos cementosos con adición de bentonita, para baldosas cerámicas | MATERIALES |
| 4 | Estudio de la adherencia después de ciclos de congelamiento y descongelamiento de adhesivos cementosos con cemento Fancesa IP-30, para baldosas cerámicas | MATERIALES |
| 5 | Estudio de la adherencia después de inmersión en agua de adhesivos cementosos con cemento Fancesa IP-30, para baldosas cerámicas | MATERIALES |
| 6 | Evaluación del efecto de la cal procedente de tres bancos destinados a la estabilización de suelos arcillosos como solución para el mejoramiento de subrasante | SUELOS Y QUÍMICA |
| 7 | Estabilización de suelos mediante emulsiones asfálticas para caminos vecinales de bajo tráfico | SUELOS |
| 8 | Transporte de agua y antibióticos en los suelos de la cuenca Katari (Altiplano - Bolivia) | SUELOS |
| 9 | Estudio de la cal útil vial para aplicación en la estabilidad química de materiales arcillosos usados en procesoso viales | SUELOS Y QUÍMICA |
| 10 | Evaluación y análisis de estabilidad de talud Zona Agua de la Vida | SUELOS |
| 11 | Tratamiento superficial con emulsión asfáltica para pavimentos, acceso IEM Cota Cota | SUELOS Y QUÍMICA |
| 12 | Comportamiento físico mecánico de una mezcla asfáltica convencional y una polimerizada con la adición de un aditivo líquido mejorado con nanotecnología (sycotherm) | ASFALTOS |
| 13 | Diseño de micropavimento con emulsión modificada con polímero para condiciones climatológicas del altiplano boliviano | ASFALTOS |
| 14 | Tratamiento superficial simple con microaglomerado | ASFALTOS |
| 15 | Análisis de envejecimiento de la carpeta de rodadura a tres años de su última evaluación. Tramo doble vía Oruro - Vinto | ASFALTOS |

La Paz - Bolivia, Diciembre 2017 Nº 11

Carrera de Ingeniería Civil - UMSA

# Investigación y Desarrollo

Revista del Instituto de Ensayo de Materiales

U.M.S.A.

"Ing. Hugo Mansilla R."
1946 - 2017

**DIRECTORA**
MSc. Ing. Verónica Gallardo Tapia
INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

**INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES**
Av. Villazón 1995
Teléfono: 2444086
E-mail: iem@umsa.bo
Web: www.iem.umsa.bo

**DISEÑO E IMPRESION**
Visión Gráfica Publicidad s.r.l.
Teléfonos: 2493903 - 2493864
E-mail: visiongraficapublicidad@yahoo.es
La Paz - Bolivia

**ISSN** 2078 - 7731

**DEPOSITO LEGAL** 4-3-26-10

La Paz - Bolivia

"El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores"

La Paz, diciembre de 2017

# Presentación

Durante los últimos 11 años, el Instituto de Ensayo de Materiales ha estado divulgando los resultados de investigaciones hechas por sus docentes investigadores y estudiantes investigadores a través de la Revista "Investigación y Desarrollo". Los artículos de nuestra revista están orientados a brindar soluciones a problemáticas locales y regionales relacionadas con la construcción civil.

En este número se exponen temáticas referentes a Mecánica de suelos y Geotecnia: "Suelos Colapsables", "Transporte electro-cinético como remediación ambiental en suelos"; y también se presentan temáticas relacionadas con los Materiales de construcción: "Reacondicionamiento de morteros de junta", "Evaluación de cementos con prehidratación acelerada" y "Evaluación de distintas dosificaciones de adhesivo para baldosas cerámicas en función de la adherencia y durabilidad".

Esperamos que los temas publicados sean del interés de los lectores, y sobre todo, que permitan su aplicabilidad en nuestro medio.

M.Sc. Ing. Verónica Gallardo Tapia
**Directora**
**Instituto de Ensayo de Materiales.**

# Contenido

EVALUACIÓN DE DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADHESIVO PARA BALDOSAS CERÁMICAS EN FUNCIÓN DE LA ADHERENCIA Y DURABILIDAD ..... 9

EVALUACIÓN DE CEMENTOS CON PREHIDRATACIÓN ACELERADA ..... 21

SUELOS COLAPSABLES ..... 33

TRANSPORTE ELECTRO-CINÉTICO COMO REMEDIACIÓN AMBIENTAL EN SUELOS ..... 36

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MORTEROS DE JUNTA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE REACONDICIONAMIENTO ..... 42

# EVALUACIÓN DE DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADHESIVO PARA BALDOSAS CERÁMICAS EN FUNCIÓN DE LA ADHERENCIA Y DURABILIDAD

Mario Arthur Asturizaga Lara
Percy Abraham Choque Jaillita
Hector Alfredo Gutierrez Romero
Verónica Tatiana Gallardo Tapia
Jorge Echazú Cortez

*vgallardo@umsa.bo jechazuco@gmail.com*

## RESUMEN.-

Bajo la imperiosa necesidad, insatisfecha por el mercado, de contar con un adhesivo cementoso para baldosas cerámicas, que cumpla con los requisitos establecidos por la norma boliviana 127002 y la disponibilidad de aditivos de mejores características a los empleados en investigaciones anteriores realizadas en el I.E.M., se decide elaborar el proyecto de grado que da origen al presente artículo. Los ensayos se basan en la resistencia a la tracción, que permite evidenciar si el adhesivo puede ser utilizado en ambientes exteriores e interiores. Para el diseño experimental se eligió el modelo multitabla en hexágono donde cada vértice representa una dosificación; el primer factor es el polvo redispersable y el segundo factor es la metilcelulosa, en cinco y tres niveles respectivamente. El comportamiento satisfactorio de las dosificaciones en la mayoría de los ensayos, menos en envejecimiento con calor, muestra que es posible encontrar un material económico de adecuada calidad y durabilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al constante crecimiento de la construcción en nuestro medio, se vio la necesidad de tener en el mercado productos con propiedades físico-mecánicas que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad.

El uso de los adhesivos cementosos para baldosas (cementos cola) en nuestro medio, data de varios años, durante todo este tiempo varias empresas se han dedicado a la producción de dichos adhesivos, pero los problemas en el colocado de cerámicas persisten, tales como la falta de adherencia y otros factores relacionados con la durabilidad.

La producción de estos adhesivos ha sido iniciada por varios empresarios nacionales, debido a la gran demanda de un producto adecuado para la colocación de baldosas cerámicas, en base a experiencias extranjeras. En nuestro país, los estudios realizados en este tema son muy escasos.

La gran mayoría de los productos comercializados y ensayados en el Instituto de Ensayo de Materiales de la U.M.S.A., no cumple los requisitos de la norma **UNE-EN 12004-2001**, equivalente a la **N.B. 127002.**

En investigaciones anteriores hechas en el Instituto de Ensayo de Materiales de la U.M.S.A., evaluando las propiedades mecánicas de Adherencia Inicial y Tiempo Abierto, no se pudo obtener una dosificación que cumpla con todos los requisitos de la norma europea UNE-EN 12004-2001.
Finalmente, la introducción en el mercado local de aditivos mejorados para la fabricación de adhesivos para baldosas cerámicas es otra razón que justifica la presente investigación.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener una dosificación de cemento cola que cumpla con todos los requisitos de la norma boliviana N.B. 127002, para adherencia inicial, tiempo abierto y durabilidad (adherencia después de inmersión en agua, adherencia después de envejecimiento con calor, adherencia después de ciclos hielo-deshielo).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la adherencia inicial para 7 dosificaciones con distintas proporciones de aditivos.

- Determinar el tiempo abierto para las mismas 7 dosificaciones del inciso anterior.

- Determinar la adherencia después de inmersión en agua para 4 dosificaciones, en función de los resultados obtenidos en los dos objetivos específicos anteriores.

- Determinar la adherencia después de envejecimiento con calor para 4 dosificaciones, en función de los resultados obtenidos en los primeros dos objetivos específicos anteriores.

- Determinar la adherencia después de ciclos hielo-deshielo para 4 dosificaciones, en función de los resultados obtenidos en los primeros dos objetivos específicos anteriores.

## 3. ALCANCE Y LIMITACIONES

Los materiales utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

- Cemento Fancesa IP40.

- Arena Silícea de la Isla del Sol, lavada y tamizada con una granulometría comprendida entre los Tamices N°40 y N°100.

- Polvo Calizo procedente de piedra caliza de la cantera de la Empresa SOBOCE, la piedra fue molida hasta obtener material que pase el Tamiz N°100.

- MetilCelulosa (MetilHidroxietilcelulosa TYLOSE MHS 150003 P4): Agente de retención de agua, distribuido por la empresa HEUBOL.

- Polvo Redispersable (DAIREN DA 1100): Copolímero de Acetato-Etileno, distribuido por la empresa HEUBOL.

- Baldosas cerámicas antiácidas de la línea "Kaiser" de la fábrica Gladymar. Estas baldosas son extruídas y tienen una absorción menor a 0.2%.

- Cerámica roja extraída de ladrillos de la fábrica de Incerpaz con una absorción entre 11% a 14%.

- Placas de hormigón de 40 x 40 x 5 cm, para el sustrato de los ensayos de adherencia en base a la Norma NB 127007.

Los ensayos de Adherencia Inicial, Adherencia después de inmersión en agua, Adherencia después de envejecimiento con calor y Adherencia después de ciclos hielo-deshielo, se realizaron en a base a la norma NB 127006. El ensayo de Tiempo Abierto se realizó en a base a la norma NB 127004. Todos los ensayos se realizaron en el Instituto de Ensayo de Materiales y con los equipos disponibles en esta unidad.

## 4. MARCO TEÓRICO

El Cemento Cola es una mezcla de cemento blanco o gris, cargas minerales de naturaleza silícea y/o caliza y aditivos orgánicos: retenedores de agua, polímeros redispersables en agua, modificadores reológicos y otros, que sólo tienen que mezclarse con agua poco antes de su uso.

Los aditivos retentores de agua (metilcelulosa), son materiales orgánicos, cuya función es otorgar al agua de amasado un mayor grado de viscosidad para reducir y/o eliminar la exudación en la mezcla ya colocada. Esto permite disponer de un tiempo suficiente para colocar el material de revestimiento con mucha comodidad.

Los polvos poliméricos redispersables, se elaboran atomizando materiales orgánicos para producir, una vez colocada una delgada capa de la mezcla en el sustrato, un elevado grado de adherencia con materiales vitrificados que poseen muy baja absorción.

La Norma Europea UNE-EN 12004, que sirvió de base para la Norma Nacional NB 127002, establece que los adhesivos cementosos (cementos cola) de fraguado normal, deben cumplir las características que se indican en la tabla 1a a continuación, mientras que los de fraguado rápido, deben cumplir las características de la Tabla Nº 1b.Las Tablas Nº 1c y Nº 1d, a su vez, incluyen las características opcionales que pueden requerirse para unas condiciones de uso especiales.

| Características Fundamentales | | | |
|---|---|---|---|
| 1a | Adhesivos de Fraguado Normal | | |
| Características | | Requisito | Método de Ensayo |
| Adherencia Inicial | | 20.5 Nmm2 | 8.2 de N.B. 127006 |
| Adherencia después de Inmersión en agua | | 20.5 Nmm2 | 8.3 de N.B. 127006 |
| Adherencia después de envejecimiento con calor | | 20.5 Nmm2 | 8.4 de N.B. 127006 |
| Adherencia de ciclos de hielo-deshielo | | 20.5 Nmm2 | 8.5 de N.B. 127006 |
| Tiempo Abierto: adherencia(después de al menos 20 min) | | 20.5 Nmm2 | N.B. 127004 |
| 1b | Adhesivos de Fraguado Rápido | | |
| Características | Requisito | | Método de Ensayo |
| Adherencia Inicial | 20.5 Nmm2 antes de 24 horas | | 8.2 de N.B. 127006 |
| Tiempo Abierto: adherencia | 20.5 Nmm2 después de al menos 10 min. | | N.B. 127004 |
| | el resto de requisitos como en la tabla 1a | | 8.4 N.B. 127006 |
| Características opcionales | | | |
| 1c | Características Especiales | | |
| Características | Requisito | | Método de Ensayo |
| Deslizamiento | 20.5 mm | | N.B. 127003 |
| Tiempo Abierto amplio: adherencia | 20.5 Nmm2 después de al menos 30 min. | | N.B. 127004 |
| 1d | Características Adicionales | | |
| Características | | Requisito | Método de Ensayo |
| Adherencia Inicial | | 21 Nmm2 | 8.2 N.B. 127006 |
| Adherencia después de Inmersión en agua | | 21 Nmm2 | 8.3 N.B. 127006 |
| Adherencia después de envejecimiento con calor | | 21 Nmm2 | 8.4 N.B. 127006 |
| Adherencia de ciclos de hielo-deshielo | | 21 Nmm2 | 8.5 N.B. 127006 |

***Tabla Nº1:*** *Características de los Adhesivos cementosos*

Según la norma NB127002, existen diferentes clases de adhesivos cementosos tipo "C", en función de las distintas características indicas en la Tabla Nº 2.

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

***Tabla Nº2:*** *Características Especiales de los Adhesivos cementosos*

El adhesivo de Clase 2 (mejorado) debe cumplir las "características adicionales" de la Tabla Nº 1.

En la Tabla Nº 3, a continuación, se muestran las recomendaciones del fabricante de los aditivos para la presente investigación, a fin de obtener un producto con propiedades adecuadas a la Normativa mencionada.

| MEZCLA BÁSICA MINERAL | Cemento de fraguado Normal (C 1) Partes en peso | Cemento Adhesivo Mejorado con características adicionales (C 2) Partes en peso |
|---|---|---|
| Cemento Portland | 30 - 40 | 35 - 45 |
| Harina de piedra caliza (<0,1 mm) | 5 - 10 | 5 - 10 |
| Arena de silice ( 0,1 - 0,4 mm) | 45 - 60 | 40 - 55 |
| ADITIVOS | | |
| Tipos de Tylose® MC para materiales de construcción | 0,35 - 0,5 | 0,35 - 0,55 |
| Dispersión en polvo (polvo redispersable) | 0,5 - 1,5 | 2 - 4 |
| ADITIVOS PARA MAYOR OPTIMIZACIÓN | | |
| Formato de calcio | 0,4 - 0,8 | 0,4 - 0,8 |
| Fibras de celulosa (<0,4 mm) | 0,1 - 0,3 | 0,1 - 0,3 |
| Cemento Aluminoso | 1 - 3 | 1 - 3 |

***Tabla Nº3:*** *Proporciones recomendadas por Tylose*

La Tabla 4, muestra las recomendaciones del Prof. Dr. Josef K. Felixberger

| Componente | Funciones principales | Especificación | Dosificación [%] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Clase C1 | Clase C2 |
| **Cemento Portland** | aglomerante para la matríz de mortero resistencia a la flexión y a la compresión | CEM I 42,5R/ 52, 5R | 30 - 50 | 30 - 40 |
| **Arena silícea** | árido, carga matríz de mortero | 0,1 - 0,5 m | 45 - 70 | 45 - 60 |
| **Carbonato cálcico** | co-carga Consistencia, procesabilidad | 30 - 60 µm | 5 - 10 | 5 - 10 |
| **Polvo polimérico redispersable** | flexibilidad, tiempo abierto reología, adherencia | diverso | 0 - 3 | 3 - 6 |
| **HMEC celulosa** | retención de agua hundimiento, procesabilidad | 40.000 mPa·s | 0,2 - 0,5 | 0,2 - 0,5 |
| **Formato de calcio** | acelerador | < 0,4 mm, tamizado | < 1 | < 1 |

***Tabla Nº4:*** *Proporciones recomendadas por el Prof. Dr. Josef K. Felixberger*

Ambas recomendaciones fueron utilizadas como insumos para emprender la presente investigación.

## 5. MARCO PRÁCTICO

En primer lugar se elaboraron las placas de hormigón con cemento Viacha Estándar y con arena del río Irpavi. Estas placas fueron ensayadas para verificar el cumplimiento de las especificaciones de la Norma NB 127007. Luego se prepararon los materiales para la elaboración del adhesivo cementosocomo se indicó en el punto 3 y estos fueron caracterizados para determinar sus principales propiedades.

### 5.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El diseño del experimento se basó en el método del hexágono con las condiciones y rangos mostrados en la Tabla Nº 5 y el Gráfico Nº 1.Cada punto en el gráfico corresponde a una dosificación con los aditivos "polvo redispersable" y "metilcelulosa" como variables; los demás componentes se mantuvieron constantes, excepto la arena cuyo porcentaje varió en función de la suma de los aditivos para cada dosificación. La cantidad de agua osciló entre el 28 y el 32 % en peso del total de la mezcla en seco.

| Porcentajes de Materiales para la elaboración de Cemento Cola | | |
|---|---|---|
| Cemento Fancesa IP40[%]= | 35 | en peso |
| Arena Silice [%]= | 57.6 - 58.6 | en peso según dosificación |
| Polvo Calizo [%]= | 5 | en peso |
| Polvo Redispersable [%]= | 1 - 1.75 | en peso según dosificación |
| MetilCelulosa [%]= | 0.5 - 0.75 | en peso según dosificación |

***Tabla Nº 5:*** *Proporciones de los materiales para la elaboración del adhesivo cementoso (cemento cola).*

Como se puede observar en el Gráfico Nº 1, en el punto central del hexágono se realizaron 4 repeticiones para control. El orden de los vaciados se efectuó de manera aleatoria.

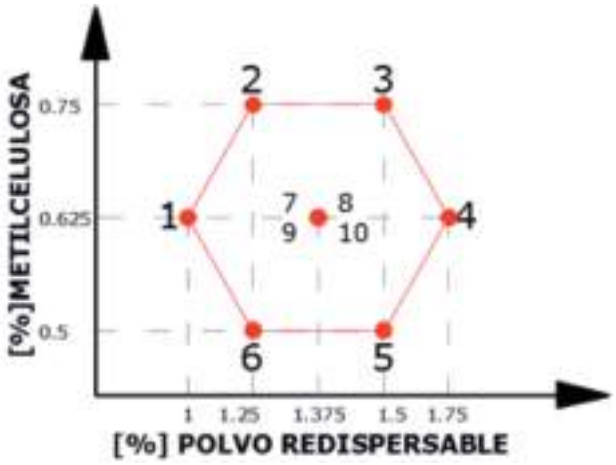



***Gráfico Nº1:*** *Coordenadas de los puntos del hexágono*

Cada dosificación implicó:

- 1 vaciada para adherencia inicial con 16 probetas distribuidas en diferentes placas.
- 1 vaciada para tiempo abierto con probetas para 5[min] ,10[min], 20[min] y 30[min]. Se colocaron 16 probetas para cada tiempo,distribuidas en diferentes placas.

Tomando en cuenta que en una placa de hormigón se colocan 16 probetas, se puede inferir de lo anterior, se vació un total de 5 placas por dosificación.Cada placa contiene 16 probetas tomadas aleatoriamente para cada uno de los ensayos antes descritos. En la Figura Nº 1 se muestra un ejemplo de distribución de las probetas en una placa.

Los ensayos de "Adherencia Inicial y Tiempo Abierto" determinaron las 4 dosificaciones a ensayarse en "Durabilidad": adherencia después de inmersión en agua, adherencia después de envejecimiento con calor y adherencia después de ciclos de hielo-deshielo.Dos de esas cuatro dosificaciones fueron elegidas en función al mínimo contenido de aditivos (Polvo Redispersable y Metilcelulosa) y a su resistencia a la tracción para uso en interiores (mayor a 0.5 MPa), y las otras dos se eligieron por su resistencia mayor a 1 MPa, lo que las hace adecuadas para uso en exteriores. Cada ensayo de Durabilidad implicó una placa con 16 probetas para cada dosificación.

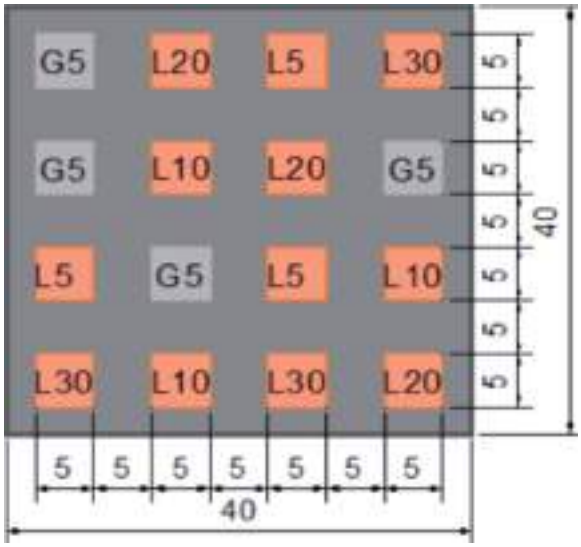



***Figura Nº1:*** *Placa con probetas para diferentes ensayos*

Las probetas de gres (G) (para la adherencia inicial y para los ensayos de durabilidad) y las de cerámica roja (L) (para tiempo abierto), fueron piezas de forma cuadrada de dimensiones 50 x 50 mm, extraídas de las baldosas antiácidas de Gladymar y de los ladrillosINCERPAZ respectivamente.

## 5.2 ADHERENCIA INICIAL

Una vez preparados los materiales de acuerdo a la dosificación calculada, se mezclaron en seco con una mezcladora de morteros hasta conseguir su homogenización y luego se añadió el agua para volver a mezclar por 1 minuto. Una vez obtenida la pasta se dejó reposar durante 3 minutos y se volvió a mezclar durante 15 segundos. Se colocó inmediatamente la pasta sobre las placas en dos capas. Una primera capa de nivelación de 2 mm de espesor que se obtiene con la ayuda de dos reglas metálicas colocadas a ambos lados como se muestra en la Figura Nº 2,y una segunda capa de aproximadamente 5 mm de espesor (Ver Figuras Nº 3 y Nº 4), en la que se pasa la llana dentada formando surcos que permitirán una adecuada colocación de las probetas de ensayo (Ver Figura Nº 5).

***Figura Nº 2:*** *Capa de nivelación de 2 mm, aplicada en una placa*

***Figura Nº 3:*** *Segunda capa de 5 mm, aplicada en una placa*

***Figura Nº 4:*** *Nivelación de la segunda capa*

***Figura Nº5:*** *Formación de surcos en la segunda capa*

Inmediatamente después de terminar la formación de surcos con la llana dentada, se comienza a computar el tiempo para la colocación de las probetas de ensayo: 5 minutos para las probetas de gres para adherencia inicial.

***Figura Nº 6:*** *Placa lista para la colocación de probetas*

Una vez transcurrido ese tiempo, se colocan las probetas en los espacios preparados (Ver Figura Nº 7) y se coloca sobre ellas una torre de pastillas metálicas con un peso total de 2 Kg, este peso permanece sobre las probetas durante 30 segundos como indica la Norma de referencia (Ver Figura Nº 8).

***Figura Nº 7:*** *Colocación de las probetas de ensayo*

***Figura Nº 8:*** *Colocación de 2 kg de peso sobre las probetas de ensayo*

Luego de terminada la colocación de las probetas de ensayo, las placas son trasladadas a un ambiente con 23±2 ºC y 50±5 % de humedad relativa (Ver Figura Nº 9).

***Figura Nº 9:*** *Placas con probetas en ambiente normalizado*

Después de 27 de días de realizado el vaciado, las probetas de ensayo son preparadas pegando las pastillas metálicas del equipo de tracción directa (Ver Figura Nº 10). El pegamento utilizado para esta operación, debe endurecer por un periodo de 24 horas.

***Figura Nº10:*** *Pegado de las pastillas metálicas*

A los 28 días del vaciado y con el pegamento de las pastillas metálicas ya endurecido, se procede a realizar el ensayo de tracción directa con ayuda del "Bond Tester" como se muestra en la Figura Nº 11.

***Figura Nº 11:*** *Ensayo de tracción con el "Bond Tester*

A medida que se va realizando el ensayo, se va registrando el tipo de rotura para apreciar la calidad del resultado. La falla no debe producirse en el pegamento de la pastilla metálica para considerarse válido. En la Figura Nº 12, se muestran probetas a ensayadas.

***Figura Nº12:*** *Probetas recién ensayadas*

## 5.3 TIEMPO ABIERTO

El ensayo para la determinación del tiempo abierto, es similar al señalado en el punto 5.2, con las siguientes modificaciones:

- Las probetas de ensayo fueron piezas cortadas de ladrillos en lugar de gres.

- Al terminar de hacer el bruñido con la llana dentada, se colocaron las probetas después de periodos de tiempo de 5, 10, 20, y 30 minutos, en los espacios preparados con cemento cola.Se aplicó también a cada probeta la carga de 2 Kg. durante un lapso de tiempo de 30 segundos.

## 5.4 ADHERENCIA DESPUÉS DE INMERSIÓN EN AGUA

El ensayo es análogo al señalado en el punto 5.2, con las siguientes excepciones:

- Se acondicionaron las probetas en ambiente de laboratorio durante 7 días y seguidamente se sumergieron en agua a temperatura ambiente.
- Luego de 20 días de inmersión, se retiraron del agua, se limpiaron con un paño y se pegaron a las probetas los cabezalesmetálicos para el ensayo de tracción. Una vez endurecido el pegamento, se volvieron a sumergir las placas con las probetas hasta el momento del ensayo.
- Al día siguiente, se retiraron las probetas del agua y se procedió inmediatamente a determinar la resistencia a tracción del adhesivo cementoso con el "Bond Tester".

***Figura Nº13:*** *Probetas en inmersin*

## 5.5 ADHERENCIA DESPUÉS DE ENVEJECIMIENTO CON CALOR

El ensayo es análogo al señalado en el punto 5.2, con las siguientes particularidades:

- Se acondicionaron las probetas en ambiente de laboratorio durante 14 días y seguidamente se introdujeron en un horno a 70±3ºC durante otros 14 días. Se retiraron las probetas del horno y se pegaron los cabezales metálicos para el ensayo de tracción.
- Se acondicionaron las placas con las probetas durante otras 24 horas en ambiente de laboratorio.
- Se determinó la resistencia a tracción del adhesivo cementoso con el "Bond Tester".

***Figura Nº14:*** *Probetas en horno*

## 5.6 ADHERENCIA DESPUÉS DE CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESCONGELAMIENTO

El ensayo es similar al señalado en el punto 5.2, con las siguientes variaciones:

- Se añadió una fina capa de adhesivo (aproximadamente 1 mm de espesor), con una paleta de borde liso, al reverso de las caras de colocación de las baldosas de gres, antes de colocarlas.
- Se acondicionaron las placas con las probetas durante 7 días en ambiente de laboratorio y seguidamente se sumergieron en agua durante 21 días, antes de someterlas a 25 ciclos de hielo-deshielo.
- Cada ciclo de hielo-deshielo se realizó de la siguiente manera:
- Se sacaron las placas con las probetas del agua y se colocaron en una cámara fría hasta conseguir una temperatura estacionaria de -15±3ºC dentro de un tiempo de 2 horas ± 20 min; se mantuvieron a esa temperatura durante 2 horas ± 20 minutos.
- Se retiraron las probetas de la cámara fría, se sumergieron nuevamente en agua a 20±3ºC y se mantuvieron a una temperatura de 15±3ºC durante un mínimo de 2 horas antes de comenzar el siguiente ciclo.

***Figura Nº15:*** *Probetas en inmersión antes de entrar al congelamiento*

***Figura Nº16:*** *Probetas en proceso de congelamiento*

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos como resultado de los ensayos fueron depurados en base a lo indicado en la Norma de referencia.

### a. Resultados de Adherencia Inicial

El Gráfico Nº 2 muestra los resultados del ensayo de adherencia inicial y el Gráfico Nº 3 muestra las curvas obtenidas después de hacer el análisis de regresión.

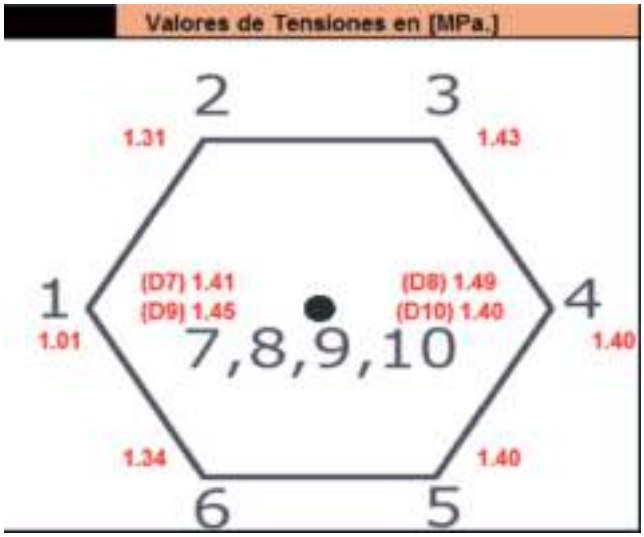



***Gráfico Nº 2:*** Resultados de Adherencia Inicial

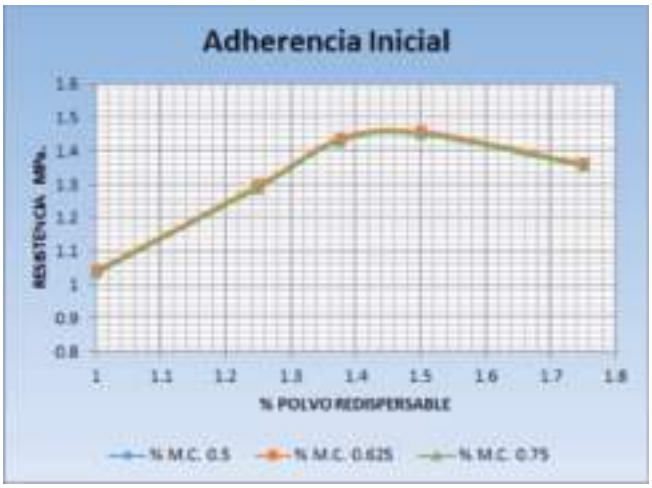



***Gráfico Nº 3:*** *Tendencias de la adherencia inicial en función del porcentaje de Polvo redispersable*

Como se puede observar, todas las dosificaciones estudiadas cumplen con el requisito de resistencia a la adherencia inicial de 1 MPa para adhesivos utilizados en exteriores. Como era de esperar, se observa una tendencia en el sentido de que a mayor porcentaje de polvo redispersable (hasta aproximadamente 1.5 %), mayor es la adherencia inicial.Por tanto, se considera óptima la dosificación con menor cantidad de polvo redispersable, es decir la dosificación Nº 1.

## 6.2 RESULTADOS DE TIEMPO ABIERTO

El Gráfico Nº 4 a continuación muestra un resumen de los resultados para los 4 diferentes lapsos de tiempo abierto para las 8 dosificaciones estudiadas.

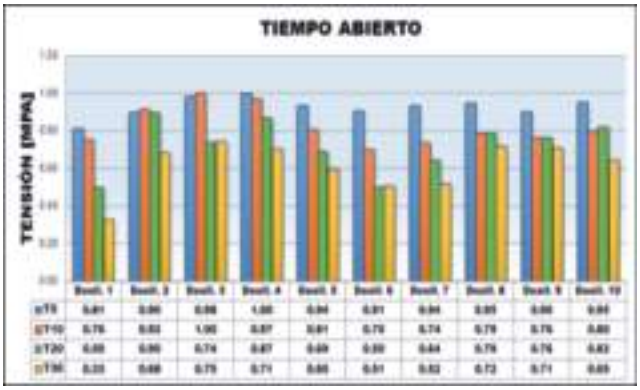



**Gráfico Nº 4:** *Resultados de Adherencia para diferentes lapsos de Tiempo Abierto*

Los Gráficos Nº 5, 6, 7 y 8 muestran las curvas obtenidas después de hacer el análisis de regresión.

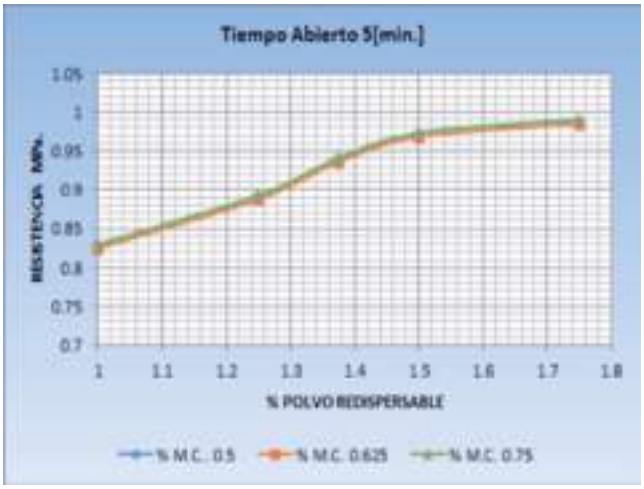



***Gráfico Nº 5:*** *Tendencias de la Adherencia para 5 minutos de Tiempo Abierto*

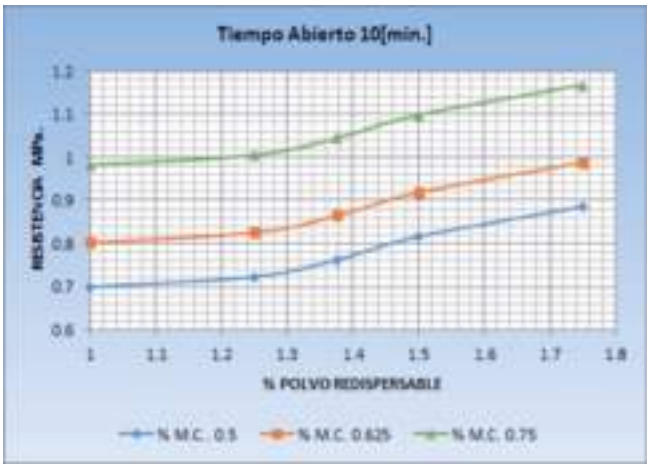



***Gráfico Nº 6:*** *Tendencias de la Adherencia paa 10 minutos de Tiempo Abierto*

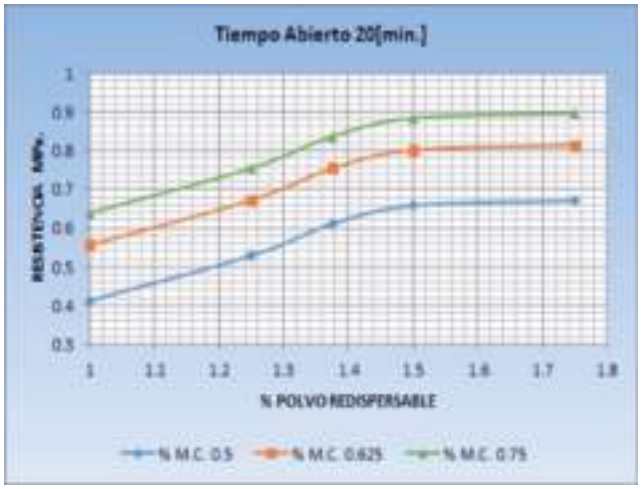



***Gráfico Nº 7:*** *Tendencias de la Adherencia para 20 minutos de Tiempo Abierto*

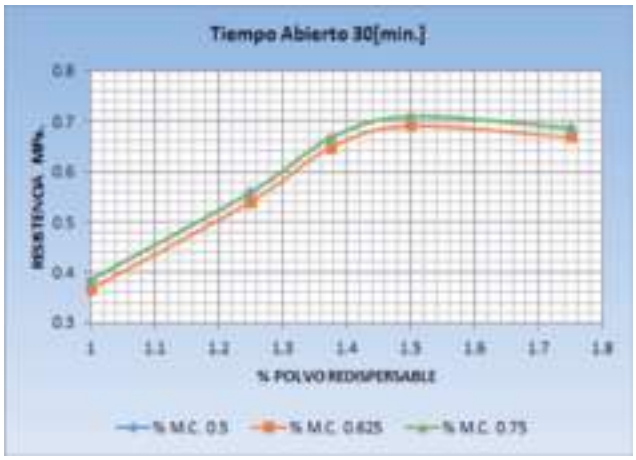



***Gráfico Nº 8:*** *Tendencias de la Adherencia para 30 minutos de Tiempo Abierto*

Como se puede observar en el gráfico Nº 4,todas las dosificaciones estudiadas cumplen con el requisito de resistencia a la adherencia mayor a 0.5 MPa, para lapsos de tiempo de 5, 10 y 20 minutos. Lo que significa que todas cumplen con el requerimiento de la Norma Nacional de referencia para adhesivos utilizados en interiores).Solamente la dosificación Nº 1 presenta un valor de adherencia menor a 0.5 MPa para 30 minutos de Tiempo Abierto; por tanto todas las demás dosificaciones estudiadas cumplen el requisito para adhesivos de tiempo abierto ampliado. Del Gráfico Nº 7, podemos concluir que con 1,2 % de polvo y 0,5 % de metilcelulosa, se alcanza 0,5 MPa a 20 minutos, por lo que ésta sería la dosificación más económica que cumple los requisitos de adherencia inicial y tiempo abierto para adhesivos utilizados en interiores.

En función a los resultados obtenidos en los ensayos de "Adherencia Inicial y Tiempo Abierto" se escogieron 4 dosificaciones a ensayarse en "Durabilidad": adherencia después de inmersión en agua, adherencia después de envejecimiento con calor y adherencia después de ciclos de hielo-deshielo: dos Dosificaciones fueron elegidas en función al mínimo contenido de aditivos (Polvo Redispersable y Metilcelulosa) y las otras dos Dosificaciones elegidas por su alto contenido de aditivos y resistencias entre 1.40 - 1.43 MPa en el ensayo de Adherencia Inicial. Las dosificaciones escogidas son la Nº 1, la Nº 3, la Nº 5 y la Nº 6.

## 6.3 RESULTADOS DE ADHERENCIA DESPUÉS DE INMERSIÓN EN AGUA

Los resultados de estos ensayos se muestran en el Gráfico Nº 9.

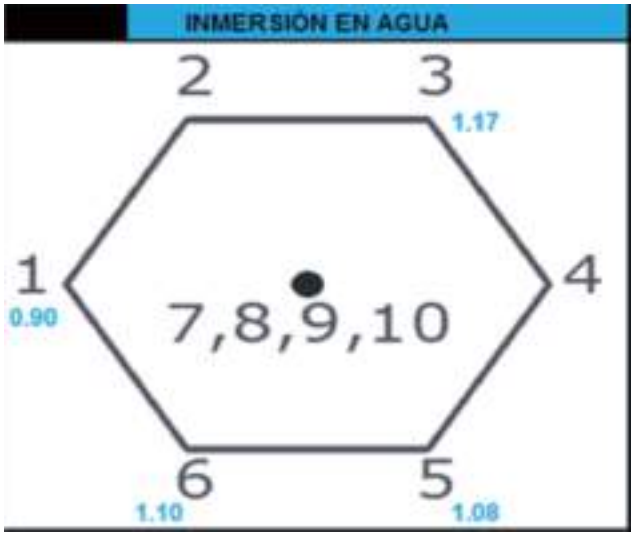



***Gráfico Nº 9:*** *Resultados de Adherencia después de inmersión en agua*

Como se puede observar, todas las dosificaciones ensayadas cumplen con el requisito de resistencia a la adherencia de 0.5 MPa, y todas, excepto la dosificación Nº 1 cumplen con el requisito de 1 MPa (para adhesivos con características adicionales).

## 6.4 RESULTADOS DE ADHERENCIA DESPUÉS DE CICLOS HIELO-DESHIELO

Los resultados de estos ensayos se muestran en el Gráfico Nº 10.

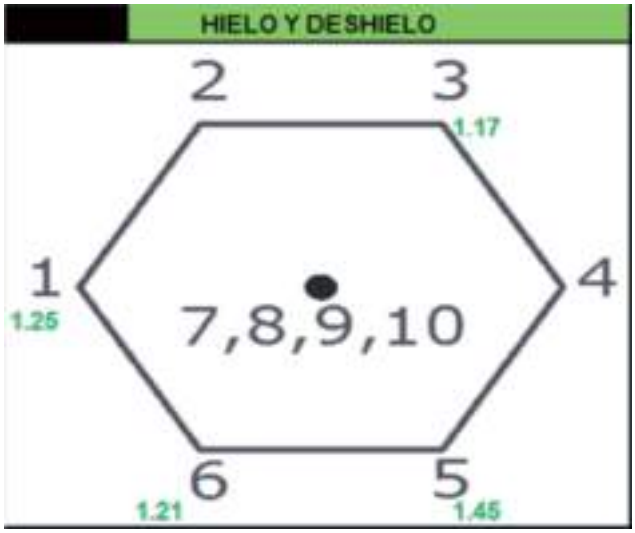



***Gráfico Nº 10:*** *Resultados de Adherencia después de ciclos hielo deshielo*

Como se puede observar, todas las dosificaciones ensayadas cumplen con el requisito de resistencia a la adherencia para 0.5 MPa y para 1 MPa.

## 6.5 RESULTADOS DE ADHERENCIA DESPUÉS DE ENVEJECIMIENTO POR CALOR

Los resultados de estos ensayos se muestran en el Gráfico Nº 11.

***Gráfico Nº 11:*** *Resultados de Adherencia después de envejecimiento por calor*

Como se puede observar en el Gráfico precedente, ninguna de las dosificaciones estudiadas cumple con

el requisito de 0.5 MPa de adherencia estipulado en la Norma.

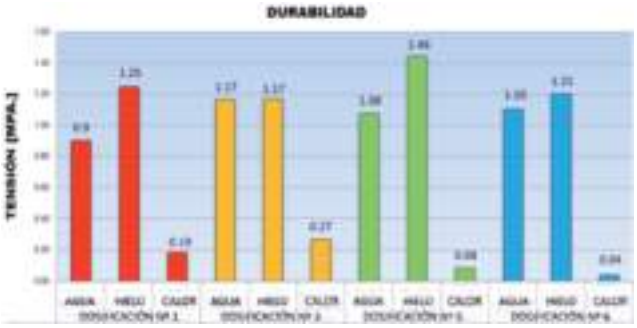



***Gráfico Nº 12:*** *Resultados de Ensayos de Durabilidad*

El Gráfico Nº 12 muestra un resumen de los resultados de los ensayos de durabilidad para las cuatro dosificaciones estudiadas.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- Evaluados los resultados para Adherencia Inicial, las siete dosificaciones de adhesivos cementosos ensayadas tienen valores mayores a 1MPa, y por tanto cumplen los requisitos de la norma N.B. 127002 para adhesivos cementosos de fraguado normal y adhesivos con características adicionales.

- Evaluados los resultados para Tiempo Abierto, las siete dosificaciones de adhesivos cementosos ensayadas superan el valor de 0.5 MPa para los tiempos de 5, 10 y 20 minutos respectivamente, cumpliendo los requisitos de la norma N.B. 127002 para adhesivos cementosos de fraguado normal. En el caso de adhesivos con tiempo abierto amplio (adherencia mayor a 0.5 MPa para tiempo abierto de 30 minutos), casi todas las dosificaciones superan el valor indicado, exceptuando la dosificación 1 que para el tiempo de 30 minutos tiene un valor de 0.33 MPa.

- Tomando en cuenta los resultados de Adherencia Inicial y Tiempo Abierto de las siete dosificaciones, se escogieron cuatro dosificaciones ( las dosificaciones Nº 1, 3, 5 y 6 ) para realizar los ensayos de durabilidad.El objetivo era identificar dos dosificaciones que puedan ser utilizadas en interiores con resistencias a la tracción mayores a 0.5 MPa y un contenido mínimo de aditivos, las otras dos dosificaciones que puedan ser posiblemente identificadas como aptas para usos en exteriores con resistencia a la tracción mayor a 1 MPa y con contenidos mayores de aditivos.

- Las cuatro dosificaciones ensayadas presentan valores de adherencia mayores a 0.5 MPa y cumplen lo estipulado por la norma N.B. 127002 para adhesivos cementosos de fraguado normal.

- Las Dosificaciones 3, 5 y 6 pueden identificarse como adhesivos cementosos de características adicionales, de alta adherencia después de inmersión en agua, debido a que el resultado es mayor a 1 MPa.

- Las cuatro dosificaciones presentan valores mayores a 0.5 MPa, y además, cumplen lo estipulado para clasificarse como adhesivos cementosos de características adicionales, de alta adherencia después de ciclos de hielo - deshielo, debido a que los resultados son mayores a 1 MPa.

- Ninguna de las cuatro dosificaciones analizadas cumple lo estipulado por la norma N.B. 127002 en cuanto a adherencia después de envejecimiento con calor.

### 7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un análisis diferenciado para obtener materiales optimizados para diferentes aplicaciones, porque como su pudo observar, las diferentes propiedades estudiadas requieren diferentes proporciones de aditivos. El caso del ensayo de "envejecimiento con calor" es muy ilustrativo al respecto, puesto que las dosificaciones que dieron buenos resultados en los otros ensayos, no dieron valores satisfactorios en ese caso.

- Debido a que en el ensayo de "envejecimiento con calor" los resultados presentan valores menores a 0.5 MPa, deben realizarse nuevas investigaciones sobre esta temática, aumentando el porcentaje de polvo redispersable y/o añadiendo otro tipo de aditivos.

- La determinación del tiempo de reposo o maduración debe ser sujeto de análisis y control para el material, debido a su influencia en el

ensayo de Adherencia Inicial, Tiempo Abierto y Durabilidad, considerando las proporciones y calidad de los materiales utilizados en la fabricación del cemento cola.

- La cantidad de agua de amasado es otra variable que se debe controlar y determinar, porque influye en la trabajabilidad en obra, y en los resultados de Adherencia Inicial, Tiempo Abierto y Durabilidad. De los productos que se comercializan en el país la mayoría de los fabricantes usan la relación de 1 litro de agua por cada 4 kilogramos de cemento cola, esta relación no cuenta con respaldo conocido de laboratorio.

## 8 BIBLIOGRAFÍA


- Felixberger J.(2008) Adhesivos de colocación en capa delgada modificados con polímeros. Instituto de Promoción Cerámica. España.

- Acevedo J. C. " Materiales y Metodologías alternativas"

- Alvarez.M.I C., Ovando M.J.. Control de calidad de los cementos cola adherencia inicial y tiempo abierto. Proyecto de Grado . Ingeniería Civil . Universidad Mayor de San Andrés.

- Mamani QM.., Liendo CAB. Ensayos de durabilidad en cementos cola. Proyecto de Grado Proyecto de Grado. Ingeniería Civil . Universidad Mayor de San Andrés.

- Normas:

  - N.B. 127002 Morteros y Hormigones - Adhesivos para baldosas cerámicas

  - (cementos cola) - Requisitos, Clasificación y Designación.

  - N. B. 127004 Morteros y Hormigones - Adhesivos para baldosas cerámicas: Determinación del tiempo abierto.

  - N. B. 127007 Morteros y Hormigones - Adhesivos para baldosas cerámicas:Placas de hormigón para ensayos.

  - N. B. 127006 Morteros y Hormigones - Adhesivos para baldosas cerámicas: Determinación de la resistencia a tracción de los adhesivos cementosos.

- INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE INTERNET

  - Manual de colocación de cemento colagres:http://www.gresaragon.com/web/descargas/colocacion_cemento.pdf

  - Como pegar cementos cola. http://www.leroymerlin.es/multimediastorage/ed/6d/39a60ed503cb6b230120c2aa7904-20115.PDF

  - Definición y normativa de cementos cola: http://www.construmatica.com/construpedia/Normativa_de_Morteros_Cola.

# EVALUACIÓN DE CEMENTOS CON PREHIDRATACIÓN ACELERADA

Claudia Stefany Santos Tuco
Ángel Ramos Maita

*stefclaudia_st@hotmail.com - aramos@umsa.bo*

**RESUMEN.-**

La presente investigación nos permite determinar la resistencia del cemento portland con puzolana IP-30 procedente de la Fábrica Sociedad Boliviana del Cemento SOBOCE S.A. - Viacha sometido a una prehidratación acelerada obteniendo distintos porcentajes de pérdida por calcinación. Demostrándose que a diferentes edades de rotura y a mayor prehidratación las resistencias van disminuyendo, no cumpliendo con el valor admisible según la norma boliviana NB 011, que indica un 7%. Al ser un insumo primordial para la construcción de obras civiles es de suma importancia corregir este valor, recomendando un 4% según la investigación desarrollada para el control de calidad del cemento.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN.

El cemento portland es un material con características aglomerantes, el cual al ser mezclado con agua, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida. Esta característica lo hace susceptible a la prehidratación, la fuente del agua puede ser externa (medio ambiente) o interna (la deshidratación del yeso en el molino y silos, el ambiente del molino y el aire de transporte). Por lo tanto el cemento es un material sensible a la humedad, debido a sus componentes químicos. Si se mantiene seco, va a mantener su calidad por tiempo prolongado más no indefinido. El cemento almacenado en contacto con el aire húmedo o en ambientes húmedos tiende a prehidratarse, fragua lentamente y tendrá menor resistencia que un cemento que se ha mantenido seco.

### 1.2. OBJETIVOS.

#### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la resistencia del cemento portland con adición de puzolana IP-30 procedente de la Fábrica SOBOCE S.A. - Viacha sometido a una prehidratación acelerada.

#### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar la arena de la Isla del Sol-Copacabana para determinar la resistencia del cemento.
- Verificar la pérdida por calcinación de los cementos prehidratados.
- Determinar la resistencia de los cementos prehidratados.

### 1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.

#### 1.3.1. ALCANCES.

Contribuir a la bibliografía existente en cuanto al análisis de la pérdida por calcinacion como un control de calidad del cemento.
Evaluando los resultados de resistencia a compresión del cemento con diferentes porcentajes de pérdida por calcinación, demostrando si superan o no los valores establecidos según la norma ASTM C-595 y NB-011.

#### 1.3.2. LIMITACIONES.

El proyecto está orientado principalmente al estudio y comparación de los resultados que reporten las probetas cúbicas en el ensayo a compresión del cemento.

Las dosificaciones se realizaran conforme al procedimiento descrito en la norma ASTM C-109, para el caso de las cantidades de la arena y el cemento, con la variable de tener la cantidad de agua cumpliendo con el ensayo de fluidez que establece la norma. Los materiales empleados será: cemento portland con adición de puzolana IP-30 procedente de la Fábrica SOBOCE S.A. - Viacha; agregado fino, arena de

procedencia de la Comunidad de Challapampa, Isla de Sol Copacabana, debido a que presenta mayor cantidad de sílice en el Departamento de La Paz y agua potable.

Antes de cada vaciado se sacara una muestra del cemento para realizar en el ensayo de pérdida por calcinación.

Todos los ensayos serán realizados en el laboratorio del Instituto de Ensayo de Materiales U.M.S.A.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.

La hidratación es el proceso en el que los constituyentes potenciales del cemento portland, reaccionan químicamente con el agua para formar los silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que junto al hidróxido de calcio, constituyen los compuestos principales de la pasta de cemento endurecido.

### 2.2. PREHIDRATACIÓN DEL CEMENTO.

Es una consecuencia de la absorción de la humedad primero del yeso, de algunas impurezas de naturaleza arcillosa que acompaña al yeso y, otra, al propio Clinker que finamente molido que es sensible a la humedad y al anhídrido carbónico del aire que lo meteoriza. Cuando la meteorización es prolongada se afectan las constantes hidráulicas de mayor situación en cal, debilitándose, por tanto, el cemento y en consecuencia produciéndose la disminución de las resistencias mecánicas del mismo.

Cuando el cemento está parcialmente hidratado el C3A en el cemento es baja reacción, debido a la carbonatación del mismo por el almacenamiento inadecuado y al mismo tiempo a la presencia de gran cantidad presente en el cemento. En la fase acuosa tendrá una baja concentración de iones de aluminato que se sobresaturaran rápidamente con relación a los iones de calcio y sulfato. Esta situación conducirá a una rápida formación de cristales de yeso con una correspondiente pérdida de consistencia.

## 3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

El modelo estadístico que utilizaremos para la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos de porcentaje de calcinación de los cementos y la resistencia a compresión de los especímenes cúbicos, será el DISEÑO FACTORIAL para determinar cómo afecta la pérdida por calcinación del cemento en la resistencia a compresión.

Donde los factores a considerar será:

*A = Edad de Rotura , con 4 niveles*
*$\rightarrow I = 7,28,56,84$ [días]*

*B = Porcentaje de Pérdida por Calcinación, con 5 niveles* $\rightarrow J = \%_1, \%_2, \%_3, \%_4, \%_5$ [%]

Numero de repeticiones $\rightarrow K = 3$

El diseño será analizado con la tabla ANOVA y con la prueba DUNCAN para establecer las diferencias significativas .

| FACTORES | B PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A EDAD DE ROTURA | $\%_1$ | $\%_2$ | $\%_3$ | $\%_4$ | $\%_5$ |
| 7 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 |
| 28 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 |
| 56 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 |
| 34 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 | Repetición 1<br>Repetición 2<br>Repetición 3 |

***Tabla N° 1:*** *Diseño del experimento*

## 4. METODOLOGÍA.

### 4.1. TRABAJOS PREVIOS.

#### 4.1.1. RECOLECCIÓN Y ACOPIO DE LA ARENA CHALLAPAMPA.

El agregado fino fue recolectado de las orillas de la Comunidad de Challapampa, Isla del Sol-Copacabana, el agregado se encuentra con material orgánico debido a que el lugar es un sitio turístico, se procedió a su respectiva limpieza del agregado, efectuando lavados al agregado, para la elaboración de las probetas.

***Fotografía N° 1:*** *Banco de material, Comunidad Challapampa - Isla del Sol y lavado de la arena*

### 4.1.2. ENSAYO DE PRUEBA DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN.

Los ensayos de prueba, tienen la finalidad de conocer el comportamiento de la prehidratación acelerada que tendrá el cemento en el cuarto de curado, para establecer las vaciadas en la confección de las probetas cúbicas en el cuarto de curado y después realizar el ensayo de pérdida por calcinación.

Se empleó las siguientes condiciones: manteniendo en la bolsa de cemento (exposición cerrada) y expuesta al ambiente (superficie expuesta) en el cuarto húmedo.

***Fotografía N° 2:*** *Ensayo de prueba: a) En batea, superficie expuesta, b) En bolsa de cemento*

## 4.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS.

Para la elaboración de las probetas cúbicas donde el cemento presentaba mayor grado de prehidratación debido a su aceleración, se puede observar la presencia de grumos. Se realizó el desmenuzado de la muestra de cemento, con el empleo de un cilindro metálico cuyo peso ayude a la desintegración de los grumos contenidos.

***Fotografía N° 2:*** *Procedimiento de molido de la muestra de cemento prehidratado: a) muestra de cemento prehidratado con grumos, b) desmenuzado del cemento prehidratado con grumos, c) muestra de cemento prehidratado desmenuzado*

## 4.3. ENSAYOS PRINCIPALES.

### 4.3.1. PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

Se determina calentando una muestra de cemento al rojo vivo (900 a 1000 °C) verificando la pérdida en peso. Una elevada pérdida por calcinación es un indicador de prehidratación o carbonatación que puede ser producida por un almacenamiento incorrecto y prolongado. El ensayo para la pérdida por calcinación se lleva a cabo de acuerdo con la Norma ASTM C114.

***Fotografía N° 3:*** *Herramientas y equipo para Pérdida por calcinación*

| Tipo de cemento | IS (<70) IT (P <S<70) IT (L<S<70) | IS (<70) IT (>70) | IP IT (P>S) IT (P>L) | IL IT (L>S) IT (L>P) |
|---|---|---|---|---|
| Óxido de magnesio, max% | - | - | 6 | - |
| Azufre reportado como sulfato *($SO_3$)*.max% | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Azufre reportado como sulfuro *(S)*. max % | 2 | 2 | - | - |
| Residuo Insoluble,max % | 1 | 1 | - | - |
| Pérdida por Ignición, max% | 3 | 4 | 5 | 10 |

***Tabla N° 2:*** *Requerimientos Químicos ASTM C-595*

| Características Químicas | Tipo de cemento | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | IP | IF | IS | IM | P |
| Pérdida por calcinación (%max) | 5 | 7 | 20 | -- | -- | 8 |
| Residuo Insoluble (%max) | 5 | -- | 5 | -- | -- | -- |
| Trióxido de azufre ($SO_3$) (%max) | 3.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Óxido de magnesio (*MgO*) (%max) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Puzolanicidad 8 o 15 días | -- | -- | -- | -- | -- | Positiva |

***Tabla N° 3:*** *Requerimientos Químicos NB 011*

### 4.1.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión del cemento portland, es la medida en pruebas de cubos estándar 2” x 2”. Estos cubos se hacen y curan de manera normalizada y usando una arena estándar. Norma ASTM C109, NB 470 Cemento-Método para determinar la resistencia a la compresión.

CONDICIONES DE ENSAYO

La temperatura del ambiente debe estar entre  y la del agua de amasado debe estar entre  . La humedad relativa del ambiente no debe ser menor a 50%.

***Fotografía N° 4:*** *Condiciones de ensayo Resistencia a compresión del cemento*

MATERIALES

a) Material
- Cemento.
- Agua.
- Arena normalizada, la arena debe cumplir la siguiente especificación de granulometría.

| TAMIZ | RETENIDO |
|---|---|
| Nº 30 | 27.5 *[gr]* |
| Nº 40 | 385.0 *[gr]* |
| Nº 50 | 618.8 *[gr]* |
| Nº 100 | 343.7 *[gr]* |
| **Total** | **1375 *[gr]*** |

***Tabla N° 4:*** *Granulometría para ensayo Resistencia a compresión del cemento, la cual se adapta la arena Challapampa*

b) Equipo

Moldes metálicos recubiertos de una ligera capa de aceite liviano, balanza, mezcladora, recipientes, y herramientas auxiliares, mesa de flujo, moldes troncocónicos y pisón de caucho.

***Fotografía N° 5:*** *Herramientas y equipo Resistencia a compresión del cemento*

PROCEDIMIENTO

a) Proporción de los materiales

La norma específica que para cementos diferentes a los tipo I, se realiza el ensayo de fluidez, el que permite determinar la cantidad de agua a utilizar para obtener una fluidez igual a $F = 110 \pm 5$ %.

El mortero será preparado en función de la cantidad de probetas que se quiera preparar.

Dosificación aplicada al ensayo resistencia a compresión del cemento, obtenida de los morteros de prueba con porcentajes variables de agua hasta obtener el flujo especificado.

| Material | Dosificación para 6 cubos |
|---|---|
| Cemento | 500 *[gr]* |
| Arena | 1375 *[gr]* |
| Agua | 310 *[gr]* |

***Tabla N° 5:*** *Dosificación para Cemento Viacha IP-30*

Colocar el agua de mezclado en el recipiente. Añadir el cemento el agua y dejar en reposo por 30 segundos; luego arrancar el mezclador y mezclar a velocidad baja (velocidad 1) por 30 segundos, seguir mezclando por 30 segundos más (con la misma velocidad) y en ese periodo echar la arena. Parar el mezclador, cambiar a velocidad media (velocidad 2), y mezclar por 30 segundos. Parar el mezclador y dejar reposar el mortero por 1½ . Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, raspar rápidamente el mortero que ha quedado en los lados y juntarlo con el resto de la amasada; luego, para el resto de este intervalo, cubrir el recipiente con un trapo húmedo o con un plástico. Continuar mezclando por 1 minuto a velocidad media (velocidad 2).

b) Ensayo de fluidez

Una vez obtenida la mezcla de materiales, previo al vaciado en moldes, se realiza el ensayo de fluidez. Llenar un molde troncocónico colocado sobre la mesa de flujo, con la mezcla, compactando en dos capas de igual espesor (golpear 20 veces en cada capa con el compactador de goma, distribuyendo el mortero en toda la superficie), enrasar, levantar el molde troncocónico y hacer caer la mesa de flujo formando una "torta" redonda. Después de las 25 caídas medir el diámetro de la "torta" en cuatro diferentes direcciones y calcular el flujo $F = 110 \pm 5$.

***Fotografía N° 6:*** *Ensayo de Fluidez*

c) Vaciado de cubos

Después de haber realizado el Ensayo de Fluidez, vaciar nuevamente la mezcla utilizada en este ensayo en el recipiente de mezclado y volver a mezclar todo el conjunto por 15 segundos a velocidad media (velocidad 2).

Una vez obtenida la mezcla de los materiales se vacía ésta en los moldes en dos capas. Cada capa es sometida a 32 golpes en 4 series de 8 golpes cada una, mediante el instrumento de compactación (los golpes deben distribuirse en forma alternada sobre toda la superficie de los moldes de acuerdo con el esquema indicado en la Norma).

La fuerza de compactación será la suficiente para obtener un lleno completo del molde.

Los moldes con las probetas vaciadas son introducidos en el cuarto de curado (a 90% de humedad relativa) y mantenidos allí durante *24 ± 0,5 Hrs*. Luego se desmoldan las probetas y se las coloca en agua de cal para su curado hasta la fecha de ensayo.

***Fotografía N° 7:*** *Vaciado de probetas cúbicas*

d) Curado de las probetas

Para el curado de las probetas cúbicas se emplea el uso de recipientes grandes cumpliendo con las condiciones de temperatura de agua.

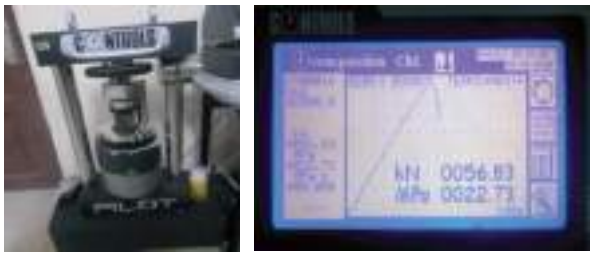
***Fotografía N° 8****: Curado de probetas cúbicas*

e) Ensayo de compresión

Para realizar el ensayo de compresión, una vez alcanzada la edad requerida, las probetas son retiradas del agua, sacadas superficialmente quitando cualquier partícula adherida a la probeta. Se toman las dimensiones de la cara del cubo que será sometida a compresión (deben ser dos caras que hayan estado en contacto con las paredes de los moldes). Si la diferencia entre el área real y el área nominal es mayor a 0.39 $cm^2$ , se utilizará el área real en los cálculos.

***Fotografía N° 9****: Probetas cúbicas*

Seguidamente se coloca el cubo en la máquina y se aplican cargas en forma continua hasta la rotura, cuya carga se registra.



***Fotografía N° 10:*** *Máquina para rotura de ensayo de Resistencia a compresión del cemento*

| Norma | Tipo de Cemento | Resistencia MPa 7 días | Resistencia MPa 28 días | Método de ensayo |
|---|---|---|---|---|
| ASTM CI50 | I | 15 | -- | ASTM C109 |
| ASTM C595 | IP | 20 | 25 | ASTM C109 |
| NB 011 | 40 | 25 | 40 | NB 470 |
| NB 011 | 30 | 17 | 30 | NB 470 |

***Tabla N° 6:*** *Requerimientos Resistencia a compresión*

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 5.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO.

#### 5.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS.

Al realizar el análisis granulométrico del agregado fino acopiado de la Comunidad Challapampa - Isla

del Sol, se comprobó que no cumple con la granulometría requerida para realizar el ensayo de resistencia a compresión del cemento.

***Fotografía N° 5. 1:*** *Análisis granulométrico de la Arena Challapampa*

***Gráfico N° 1:*** *Análisis granulométrico obtenido de la arena Challapampa*

Comparando los porcentajes de arena requerida para el ensayo de resistencia a compresión del cemento y el análisis granulométrico obtenido de la arena Challapampa solo cumple para el tamiz N°100. Debido a este aspecto, se tiene que tamizar la arena requerida en los tamices retenidos en: N°30, N°40, N°50, y N°100, cumpliendo con los porcentajes requeridos para el vaciado de las probetas.

### 5.1.2. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.

En la Tabla N°7 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de caracterización de agregados.

| ENSAYO DE LABORATORIO | NORMA | RESULTADO ARENA CHALLAPAMPA | UNIDAD |
|---|---|---|---|
| Análisis granulométrico de agregados finos | ASTM C-136 | -- | -- |
| Peso específico del agregado fino | ASTM C-128 | 2.427 | $[kg/m^3]$ |
| Absorción del agregado fino | ASTM C-128 | 0,997 | [%] |
| Peso unitario (suelto) del agregado fino | ASTM C-29 | 1428.80 | $[kg/m^3]$ |
| Peso unitario (compactado) del agregado fino | ASTM C-29 | 1555.80 | $[kg/m^3]$ |
| Porcentaje de vacios (suelto) del agregado fino | ASTM C-29 | 41.239 | [%] |
| Porcentaje de vacios (copactado) del agregado fino | ASTM C-29 | 35.928 | [%] |
| Material más fino que el tamíz Nº 200 (pasa Nº 4) | ASTM C-117 | 1.32 | [%] |
| Contenido de silice como dióxido de silicio | ASTM C-114 | 86.42 | [%] |

***Tabla N° 7:*** *Propiedades físico mecánicas de la arena Challapampa*

## 5.2. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL CEMENTO.

En la Tabla N°8 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de caracterización del cemento Viacha estándar, también se realizó ensayos de laboratorio para el cemento con prehidratación acelerada.

| ENSAYO DE LABORATORIO | NORMA | RESULTADO CEMENTO | RESULTADO CEMENTO PREHIDRATADO | UNIDAD |
|---|---|---|---|---|
| Peso específico del agegado fino | ASTM C-128 | 2.91 | 2.81 | $[gr/cm^3]$ |
| Tiempo de fraguado | ASTM C-29 | Ti=217<br>Tf=269 | Ti= 162sin grumos<br>Tf=394sin grumos<br>Ti=192con grumos<br>Tf=406 con grumos | *[min]* |
| Pérdida por calcinación | ASTM C-114 | 3.78 | 9.78 | [%] |

***Tabla N° 8:*** *Propiedades físico mecánicas del cemento Viacha estándar*

## 5.3. ENSAYOS PRINCIPALES.

### 5.3.1. PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN.

Antes de cada vaciada de las probetas cúbicas del cemento Viacha estándar, se tomó muestra para el ensayo de pérdida por calcinación, donde se realizaron cinco vaciadas considerando el cemento desmenuzado (sin presencia de grumos).

| PÉRDIDA POR CALCINACIÓN IP-30 | VACIADAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| Nº DÍAS | 0 | 7 | 18 | 28 | 46 |
| % PÉRDIDA POR CALCINACIÓN | 3.78% | 4.63% | 5.65% | 7.34% | 9.78% |

***Tabla N° 9:*** *Pérdida por calcinación del cemento Viacha estándar IP-30*

***Gráfico N° 2:*** *Pérdida por calcinación del cemento para la elaboración de probetas*

Realizando una comparación del incremento de la pérdida por calcinacion debido a la prehidratación acelerada, ver Gráfica N°3, en los resultados de pérdida por calcinación para la elaboración de las probetas, no se tuvo valores similares respecto a la muestra de prueba de superficie expuesta, debido a que las dimensiones de la batea y el espesor eran de menor tamaño, pero se hizo la consideración de mezclar para homogeneizar la prehidratación.

***Gráfico N° 3:*** *Comparación de la pérdida por calcinación: a) Cemento de la investigación b) En bolsa de cemento, c) Expuesta al ambiente*

### 5.3.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CEMENTO.

Resultados del ensayo de resistencia a compresión del cemento realizado en el laboratorio, para las tres repeticiones realizadas.

| % PÉRDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D-1 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R 1 | R 2 | R 3 |
| A (3.78%) | 7 | 19.53 | 19.94 | 20.12 |
| | 28 | 29.72 | 30.12 | 30.51 |
| | 56 | 34.65 | 33.39 | 32.46 |
| | 84 | 36.46 | 35.50 | 35.80 |

| % PÉRDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D-1 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R 1 | R 2 | R 3 |
| B (4.63%) | 7 | 18.19 | 18.92 | 17.48 |
| | 28 | 26.34 | 26.39 | 26.88 |
| | 56 | 29.72 | 30.22 | 31.50 |
| | 84 | 32.12 | 31.95 | 33.97 |

| % PÉRDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D-1 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R 1 | R 2 | R 3 |
| C (5.65%) | 7 | 16.29 | 16.94 | 16.43 |
| | 28 | 24.26 | 23.29 | 24.27 |
| | 56 | 27.51 | 29.04 | 27.82 |
| | 84 | 29.36 | 30.72 | 30.56 |

| % PÉRDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D-1 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R 1 | R 2 | R 3 |
| D (7.34%) | 7 | 10.99 | 11.48 | 11.37 |
| | 28 | 17.53 | 17.35 | 17.66 |
| | 56 | 22.04 | 21.48 | 21.49 |
| | 84 | 24.33 | 23.31 | 23.42 |

| % PÉRDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D-1 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R 1 | R 2 | R 3 |
| E (9.78%) | 7 | 8.06 | 8.45 | 7.92 |
| | 28 | 13.15 | 13.41 | 13.81 |
| | 56 | 17.43 | 16.72 | 16.71 |
| | 84 | 18.20 | 18.63 | 18.28 |

***Tabla N° 10:*** *Resumen de Resistencias a compresión del cemento (MPa)*

### 5.3.2.1. EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CEMENTO EN EL TIEMPO.

Con los resultados de resistencia a compresión del cemento para las cuatro edades de rotura, se representa la evolución de la resistencia en el tiempo, con los cinco diferentes porcentajes de pérdida por calcinación para la dosificación realizada.

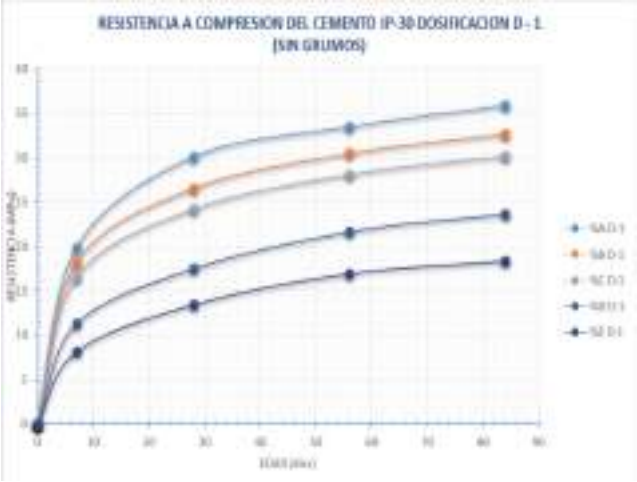



***Gráfico N° 4:*** *Evolución de la Resistencia a compresión del cemento (sin grumos)*

En la Gráfica N°4, se representa como la resistencia obtenida del cemento A (antes de su prehidratacion) tiene resistencias elevadas y a medida que se va prehidratando el cemento a la edad de 7, 28, 56 y 84 días las resistencias van disminuyendo.

| EDAD (días) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN | | | | |
| | A=3.78% | B=4.63% | C=5.65% | D=7.34% | E=9.78% |
| **7 Días** | 19.86 | 18.20 | 16.55 | 11.28 | 8.14 |
| **28 Días** | 30.12 | 26.54 | 24.21 | 17.51 | 13.46 |
| **56 Días** | 33.50 | 30.48 | 28.13 | 221.67 | 16.95 |
| **84 Días** | 35.92 | 32.68 | 30.22 | 23.69 | 18.37 |

***Tabla N° 11:*** *Resumen de la resistencia a compresión del cemento (MPa)*

***Gráfico N° 5:*** *Evolución de la pérdida de resistencia a compresión del cemento (sin grumos)*

## 5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

### 5.4.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA.

Consiste en un análisis de dos factores: (FACTOR A) Edades de ensayo de rotura y (FACTOR B) Porcentaje de pérdida por calcinación.

**Dosificación D - 1 (sin grumos)**

| RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RESULTADOS DE LABORATORIO | | FACTOR B Porcentaje de Calcinación (%) | | | | |
| | | A-3.78% | B-4.63% | C-5.65% | D-7.34% | E-9.78% |
| FACTOR A Edad de ensayo (días) | 7 | 19.53 | 18.19 | 16.29 | 10.91 | 8.06 |
| | | 19.94 | 18.92 | 16.94 | 11.48 | 8.45 |
| | | 20.12 | 17.48 | 16.43 | 11.37 | 7.92 |
| | 28 | 29.62 | 26.34 | 24.26 | 17.53 | 13.15 |
| | | 30.12 | 26.39 | 23.99 | 17.35 | 13.41 |
| | | 30.51 | 26.88 | 24.37 | 17.66 | 13.81 |
| | 56 | 34.65 | 29.72 | 27.51 | 22.04 | 17.43 |
| | | 33.39 | 30.22 | 29.04 | 21.48 | 16.72 |
| | | 32.46 | 31.50 | 27.82 | 21.49 | 16.71 |
| | 84 | 36.46 | 32.12 | 29.36 | 24.33 | 18.20 |
| | | 35.50 | 31.95 | 30.72 | 23.31 | 18.63 |
| | | 35.80 | 33.97 | 30.56 | 23.42 | 18.28 |

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Razón Fc | Fisher (Ft) alfa-0.05 |
|---|---|---|---|---|---|
| Repetición | 2 | 0.200 | 0.100 | 0.288 | 3.25 |
| Efectos principales | | | | | |
| **A**(Edades de ensayo) | 3 | 1561.914 | 520.638 | 1502.392 | 2.86 |
| **B**(% calcinación) | 4 | 1950.840 | 487.710 | 1407.372 | 2.63 |
| Interacción AB | 12 | 37.299 | 3.102 | 8.953 | 2.02 |
| Error | 38 | 13.169 | 0.347 | | |
| Total | 59 | 3563.352 | | | |

***Tabla N° 12:*** *Análisis de la varianza Anova D-1*

Conclusión:

1.- La repetición no es significativa; entonces el error aleatorio es el mismo en todo el experiemento.

2.- Edad de ensayo FACTOR A es significativo para alfa = 0.05

3.- Porcentaje de calcinación FACTOR B es significativo para alfa = 0.05

4.- La interacción de los factores A y B es significativa para alfa = 0.05

## 5.4.2. PRUEBA DUNCAN.

Como los resultados de la resistencia a compresión varían para la dosificación en el desarrollo de la investigación, por tal razón se realizaran en función al Factor A y el Factor B, de forma más localizada.

| CODIGO DE COLORES | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | 28 | 56 | 84 |
| | | | |

***Tabla N° 13:*** *Código de colores para la Prueba Duncan, edad de rotura de Resistencia a compresión del cemento*

| PRUEBA DUNCAN D-1 | | EDAD DE ROTURA (días) PRUEBA POR CALCINACIÓN (%) | 56 | 84 | 56 | 84 | 28 | 56 | 28 | 28 | 84 | 56 | 7 | 84 | 7 | 28 | 56 | 7 | 28 | 7 | 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A=3.78% | B=4.63% | B=4.63% | C=5.65% | A=3.78% | C=5.65% | B=4.63% | C=5.65% | D=7.34% | D=7.34% | A=3.78% | E=9.78% | B=4.63% | D=7.34% | E=9.78% | C=5.65% | E=9.78% | D=7.34% | E=9.78% | |
| | | | 31 | 42 | 32 | 43 | 21 | 33 | 22 | 23 | 44 | 34 | 11 | 46 | 12 | 24 | 36 | 13 | 25 | 14 | 15 | |
| EDAD DE ROTURA (días) | PRUEBA POR CALCINACIÓN (%) | RESISTENCIA (MPa) | 33.50 | 32.68 | 30.48 | 30.22 | 30.12 | 28.13 | 26.54 | 24.21 | 23.69 | 21.67 | 19.86 | 18.37 | 18.20 | 17.51 | 16.95 | 16.55 | 13.46 | 11.28 | 8.14 | |
| 84 | A=3.78% | 35.92 | 2,42 | 3,24 | 5,44 | 5,70 | 5,80 | 7,79 | 9,38 | 11,71 | 12,23 | 14,25 | 16,05 | 17,55 | 17,72 | 18,41 | 18,97 | 19,37 | 22,46 | 24,64 | 27,78 | 20 |
| 56 | A=3.78% | 33.50 | | 0,82 | 3,02 | 3,29 | 3,39 | 5,38 | 6,96 | 9,30 | 9,62 | 11,83 | 13,64 | 15,13 | 15,31 | 15,99 | 16,55 | 16,95 | 20,04 | 22,22 | 25,36 | 19 |
| 84 | B=4.63% | 32.68 | | | 2,20 | 2,47 | 2,57 | 4,56 | 6,14 | 8,48 | 9,00 | 11,01 | 12,82 | 14,31 | 14,49 | 15,17 | 15,73 | 16,13 | 19,22 | 21,40 | 24,54 | 18 |
| 56 | B=4.63% | 30.48 | | | | 0,26 | 0,36 | 2,35 | 3,94 | 6,27 | 6,79 | 8,81 | 10,62 | 12,11 | 12,28 | 12,97 | 13,53 | 13,93 | 17,02 | 19,20 | 22,34 | 17 |
| 84 | C=5.65% | 30.22 | | | | | 0,10 | 2,09 | 3,68 | 6,01 | 6,53 | 8,55 | 10,35 | 11,85 | 12,02 | 12,70 | 13,27 | 13,68 | 16,78 | 18,93 | 22,08 | 16 |
| 28 | A=3.78% | 30.12 | | | | | | 1,99 | 3,58 | 5,91 | 6,43 | 8,45 | 10,25 | 11,75 | 11,92 | 12,60 | 13,17 | 13,58 | 16,66 | 18,83 | 21,98 | 15 |
| 56 | C=5.65% | 28.13 | | | | | | | 1,59 | 3,92 | 4,44 | 6,46 | 8,26 | 9,76 | 9,93 | 10,61 | 11,18 | 11,57 | 14,67 | 16,84 | 19,99 | 14 |
| 28 | B=4.63% | 26.54 | | | | | | | | 2,33 | 2,85 | 4,87 | 6,67 | 8,17 | 8,34 | 9,03 | 9,59 | 9,98 | 13,08 | 15,26 | 18,40 | 13 |
| 28 | C=5.65% | 24.21 | | | | | | | | | 0,52 | 2,54 | 4,34 | 5,84 | 6,01 | 6,69 | 7,26 | 7,65 | 10,75 | 12,92 | 16,07 | 12 |
| 84 | D=7.34% | 23.69 | | | | | | | | | | 2,02 | 3,82 | 5,32 | 5,49 | 6,17 | 6,74 | 7,13 | 10,23 | 12,40 | 15,55 | 11 |
| 56 | D=7.34% | 21.67 | | | | | | | | | | | 1,81 | 3,30 | 3,47 | 4,16 | 4,72 | 5,12 | 8,21 | 10,39 | 13,53 | 10 |
| 7 | A=3.78% | 19.86 | | | | | | | | | | | | 1,49 | 1,67 | 2,35 | 2,91 | 3,31 | 6,40 | 8,58 | 11,72 | 9 |
| 84 | E=9.78% | 18.37 | | | | | | | | | | | | | 0,17 | 0,86 | 1,42 | 1,82 | 4,91 | 7,09 | 10,23 | 8 |
| 7 | B=4.63% | 18.20 | | | | | | | | | | | | | | 0,68 | 1,25 | 1,64 | 4,74 | 6,91 | 10,05 | 7 |
| 28 | D=7.34% | 17.51 | | | | | | | | | | | | | | | 0,56 | 0,96 | 4,05 | 6,23 | 9,37 | 6 |
| 56 | E=9.78% | 16.95 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,40 | 3,49 | 5,67 | 8,81 | 5 |
| 7 | C=5.65% | 16.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | 3,09 | 5,27 | 8,41 | 4 |
| 28 | E=9.78% | 13.46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2,18 | 5,32 | 3 |
| 7 | D=7.34% | 11.28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3,14 | 2 |

| p | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| rp | 2,883 | 3,21 | 3,106 | 3,175 | 3,228 | 3,27 | 3,303 | 3,331 | 3,355 | 3,376 | 3,392 | 3,407 | 3,419 | 3,431 | 3,44 | 3,449 | 3,456 | 3,463 | 3,469 |
| Rp | 5,683 | 1,020 | 1,359 | 1,699 | 2,039 | 2,379 | 2,719 | 3,059 | 3,399 | 3,739 | 4,078 | 4,418 | 4,758 | 5,098 | 5,438 | 5,778 | 6,118 | 6,458 | 6,797 |

***Tabla N° 14:*** *Prueba Duncan*

| RESISTENCIA (MPa) | | DIFERENCIAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A(3.78%) | B(4.63%) | C(5.65%) | D(7.34%) | E(9.78%) |
| Edad: 7 DÍAS | | 19.86 | 18.20 | 16.55 | 11.28 | 8.14 |
| A (3.78%) | 19.86 | – | 1.67 | 3.31 | 8.58 | 11.72 |
| B (4.63%) | 18.20 | – | – | 1.64 | 6.91 | 10.05 |
| C (5.65%) | 16.55 | – | – | -- | 5.27 | 8.41 |
| D (7.34%) | 11.28 | – | – | -- | -- | 3.14 |

| RESISTENCIA (MPa) | | DIFERENCIAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A(3.78%) | B(4.63%) | C(5.65%) | D(7.34%) | E(9.78%) |
| Edad: 28 DÍAS | | 30.12 | 26.54 | 24.21 | 17.51 | 13.46 |
| A (3.78%) | 30.12 | -- | 3.58 | 5.91 | 12.60 | 16.66 |
| B (4.63%) | 26.54 | -- | -- | 2.33 | 9.03 | 13.08 |
| C (5.65%) | 24.21 | -- | -- | -- | 6.69 | 10.75 |
| D (7.34%) | 17.51 | -- | -- | -- | -- | 4.05 |

| RESISTENCIA (MPa) | | DIFERENCIAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A(3.78%) | B(4.63%) | C(5.65%) | D(7.34%) | E(9.78%) |
| Edad: 56 DÍAS | | 33.50 | 30.48 | 28.13 | 21.67 | 16.95 |
| A (3.78%) | 33.50 | -- | 3.02 | 5.38 | 11.83 | 16.55 |
| B (4.63%) | 30.48 | -- | -- | 2.35 | 8.81 | 13.53 |
| C (5.65%) | 28.13 | -- | -- | -- | 6.46 | 11.17 |
| D (7.34%) | 21.67 | -- | -- | -- | – | 4.72 |

| RESISTENCIA (MPa) | | DIFERENCIAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A(3.78%) | B(4.63%) | C(5.65%) | D(7.34%) | E(9.78%) |
| Edad: 84 DÍAS | | 35.92 | 32.68 | 30.22 | 23.69 | 18.37 |
| A (3.78%) | 35.92 | -- | 3.24 | 5.70 | 12.23 | 17.55 |
| B (4.63%) | 32.68 | -- | – | 2.47 | 9.00 | 14.31 |
| C (5.65%) | 30.22 | -- | – | -- | 6.53 | 11.84 |
| D (7.34%) | 23.69 | -- | – | -- | – | 5.31 |

***Tabla N° 15:*** *Prueba Duncan para cada edad de rotura*

Para las edades menores a 28 días, presenta resultados significativamente diferentes a partir C= 5.65%.

En las probetas cúbicas de pérdida por calcinación A=3.78% y B=4.63%, no reportan diferencias significativas entre las edades de rotura efectuadas.

Por lo cual, las probetas cúbicas de la dosificación D-1, las pérdida por calcinación D= 7.34% y E=9.78% reportan resultados significativamente diferentes, en las cuatro edades de rotura. Debido a que estos valores superan los valores límites establecidos en la Norma NB011 (pérdida por calcinación IP = 7%).

## 5.5. RESUMEN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

Para la elaboración de probetas cúbicas las dosificación D-1(textura cemento desmenuzado) y D-2 (textura de cemento con presencia de grumos), a partir de la tercera vaciada, se notó que la muestra de cemento para satisfacer el ensayo de fluidez, se requiere más agua. Por este motivo, se realizó también el vaciado para estas muestras con la dosificación D-3 (relación a/c variable, cemento molido) y dosificación D-4 (relación a/c variable, cemento con grumos), para conocer el comportamiento que tendría, debido a que sus dosificaciones varían para las vaciadas realizadas, ya no se tendrá un parámetro constante en los resultados, resumen de los resultados obtenidos Tabla N°16 y Gráfica N°6.

| % PERDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| A (3.78%) | 7 | 19.86 | 19.86 | -- | -- |
| | 28 | 30.12 | 30.12 | -- | -- |
| | 56 | 33.50 | 33.50 | -- | -- |
| | 84 | 35.02 | 35.02 | -- | -- |

| % PERDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| B (4.63%) | 7 | 18.20 | 18.20 | -- | -- |
| | 28 | 26.54 | 26.54 | -- | -- |
| | 56 | 30.48 | 30.48 | -- | -- |
| | 84 | 32.68 | 32.68 | -- | -- |

| % PERDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| C (5.65%) | 7 | 16.55 | 15.66 | 13.63 | 13.08 |
| | 28 | 24.21 | 23.77 | 21.13 | 20.68 |
| | 56 | 28.13 | 27.67 | 25.98 | 25.55 |
| | 84 | 30.22 | 29.57 | 27.84 | 27.09 |

| % PERDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| D (7.34%) | 7 | 11.28 | 10.91 | 10.39 | 10.60 |
| | 28 | 17.51 | 17.71 | 16.73 | 16.55 |
| | 56 | 21.67 | 21.36 | 20.69 | 20.43 |
| | 84 | 23.69 | 23.36 | 22.72 | 22.20 |

| % PERDIDA DE CALCINACIÓN | EDAD DE ENSAYO (DÍAS) | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| E (9.78%) | 7 | 8.14 | 7.96 | 6.41 | 5.93 |
| | 28 | 13.46 | 13.08 | 12.16 | 11.79 |
| | 56 | 16.95 | 16.15 | 15.38 | 15.05 |
| | 84 | 18.37 | 17.84 | 16.57 | 16.02 |

***Tabla N° 16:*** *Resistencia promedio a compresión IP-30 de las probetas considerando la relación a/c variables (MPa)*

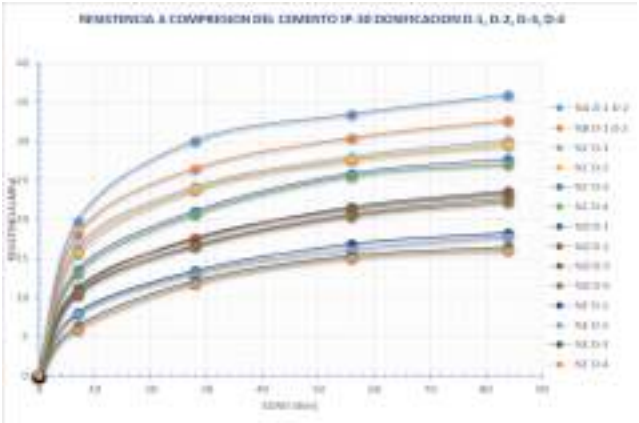


***Gráfico N° 6:*** *Comparación de la evolución de la Resistencia a compresión del cemento IP-30 para dosificación D-1, D-2, D-3 y D-4*

Al analizar la gráfica se puede apreciar que el comportamiento es similar obtenidos a las dosificaciones D-1(sin grumos). Donde a mayor pérdida por calcinación disminuye las resistencias a compresión del cemento. Y una muestra de cemento desmenuzada, presenta mayor resistencia que la de un cemento con presencia de grumos.

Al realizar la comparación con la Tabla N°2 y Tabla N°3, para cemento con puzolana tipo IP - 30, donde se detallan los requerimientos químicos, haciendo énfasis a la pérdida por calcinación, y la Tabla N°6 de los requerimientos de resistencia a compresión, se tiene:

| Pérdida por Calcinación | Resistencia a Compresión del Cemento (MPa) | | | | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| | 7 días | 28 días | 56 días | 84 días | |
| 5% | 20 | 25 | -- | -- | Norma ASTM C - 595 |
| 7% | 17 | 30 | -- | -- | Norma NB - 011 |

***Tabla N° 17:*** *Valores admisibles de la Resistencia a Compresión del Cemento IP-30 y Pérdida por Calcinación*

Con los resultados obtenidos en laboratorio se tiene la siguiente Tabla N°18.

| Pérdida por Calcinación | Resistencia a Compresión del Cemento (MPa) | | | | Observaciones | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 días | 28 días | 56 días | 84 días | Norma ASTMC - 595 | Norma NB-011 |
| A= 3.78% | 19.86 | 30.12 | 33.50 | 35.92 | Cumple | Cumple |
| B= 4.63% | 18.20 | 26.54 | 30.48 | 32.68 | Cumple | No Cumple |
| C= 5.65% | 16.55 | 24.21 | 28.13 | 30.22 | No Cumple | No Cumple |
| D= 7.34% | 11.28 | 17.51 | 21.67 | 23.69 | No Cumple | No Cumple |
| E= 9.78% | 8.14 | 13.46 | 16.95 | 18.37 | No Cumple | No Cumple |

***Tabla N° 18:*** *Comparación los resultados obtenidos en laboratorio de la Resistencia a Compresión del Cemento IP-30 y Pérdida por Calcinación*

Con los resultados obtenidos en laboratorio, y tomando en cuenta el ensayo a Resistencia a Compresión a la edad de 28 días de rotura, la pérdida por calcinación A=3.78% cumple con las normas ASTM C-595 y NB 011, la pérdida por calcinación B=4.63% cumple solo con la norma ASTM C-595, la pérdida por calcinación C=5.65%, D=7.34% y E=9.78% no cumplen con las normas ASTM C-595 y NB -011, debido a que el valor de la resistencia obtenida están por debajo de la resistencia mínima admisible.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES.

- Para el desarrollo de la investigación determinamos la resistencia del cemento Estándar IP-30 procedente de la Fábrica Sociedad Boliviana de Cemento "SOBOCE S.A". - Viacha, sometiéndolo a una prehidratación acelerada en el cuarto de curado, temperatura de y humedad mayor al 90%, realizando la prueba de pérdida por calcinación del cemento y su respectivo vaciado de las probetas para determinar la resistencia. Consideramos como dosificación en la investigación, las cantidades fijas de cemento, arena y agua, para tener parámetros constantes en las vaciadas, el cemento esta sin presencia de grumos (desmenuzando el cemento con ayuda de un rodillo para le desintegración de los grumos). El resultado obtenido se pudo verificar que la resistencia a medida que el cemento se prehidrata la resistencia baja.

- Según el análisis estadístico diseño factorial la resistencia del cemento en la Tabla N° 14 y Tabla N° 15, concluimos que a partir de la tercera vaciada con una pérdida por calcinación de 5.65% la resistencia disminuye de manera significativa, donde sus valores admisibles de acuerdo a la Norma ASTM C-595 la pérdida por calcinación para los cementos con adición máximo admisible es 5% y la resistencia mínimo 25 MPa.

- Comparando con la Norma Boliviana NB-011 presenta que a partir de la segunda vaciada con pérdida por calcinación de 4.65% el cemento Estándar IP-30 no cumple con los requerimientos de resistencia mínima de 30 MPa, siendo que su pérdida por calcinación máximo del 7 % como se puede observar en las tablas de la Tabla N°17 y Tabla N° 18.

- En la elaboración de probetas en el momento del mezclado se apreciaba el falso fraguado, verificándose el tiempo de fraguado es más largo respecto a la primera vaciada efectuada. Además presentaron mayor exudación en las probetas respecto a cementos no prehidratados, donde la resistencia de las mismas es afectada considerablemente.

- Realizamos dos dosificaciones D-3 y D-4, con una relación a/c diferentes verificándose la fluidez según la norma NB 473. Obteniendo resultados menores a la dosificación D-1, D-2 que mantienen constantes la cantidad de agua y cemento, está perdida de resistencia se debe al incrementó en la cantidad de agua.

## 6.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda investigar y homologar la arena de la Comunidad de Challapampa - Isla del Sol Copacabana para realizar el control de calidad de los cementos según Norma NB 470, debido que para este control se debe importar la arena OTTAWA de Estados Unidos.

- Se debe modificar el porcentaje de pérdida por calcinación máximo admisible de nuestra norma Boliviana NB 011 que indica el 7%. Recomendado según la investigación el valor de 4%, donde los resultados del cemento Estándar IP 30 si cumple a los 28 días la resistencia a compresión demostrándose que a mayor perdida por calcinación del 4.63%, la resistencia disminuye.

- Realizar un comentario sobre la edad de rotura de los cementos con adición debido a que estos cementos tardan en adquirir su resistencia a edades tempranas siendo su rotura a los 56 días donde el valor de la pérdida por calcinación recomendado aumentaría al 5%.

- Los cementos con una pérdida de calcinación mayor al 4%, no se deben utilizar en elementos estructurales, debido a su prehidratación, presentara mayor absorción del agua y exudación, se recomienda utilizar estos cementos en obras que no sean de aporte estructural (aceras, cordones, revestimientos).

- En obras de mucha importancia, el cemento se debe adquirir de puntos autorizados que cumplan con los requerimientos de almacenamiento y fecha de elaboración. El cemento debe estar protegido para mantener sus cualidades y asegurar el máximo aprovechamiento de su calidad, no abrir el empaque del cemento si no se va usar inmediatamente ya que disminuye sus propiedades y vida útil.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.


- García Fernández, Carlos Alberto. (2001). Metodología de la Investigación y Diseño Estadístico de Experimentos. (Módulo I) La Paz, Bolivia.

- Cerruto Anibarro, Fernando. (2009). Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón. (6ª Ed.) La Paz, Bolivia.

- Echazú Cortez, Jorge. (2011). Materiales de Construcción y Laboratorio. La Paz, Bolivia.

- García, Á., Morán, F., Arroyo, J. (2011). Jiménez Montoya Hormigón Armado. (15ª Ed.) Barcelona, España: Gustavo Gilli, SL.

- Velásquez Garzón, Raúl. (2005). Introducción a la Tecnología del Hormigón. (1ª Ed.) La Paz, Bolivia.

- Alcon Troncoso, Nathan. (1996). Proyecto de Grado: Homologación de la Arena Ottawa. La Paz, Bolivia.

- Figueroa Estrada, Kenneth. (2014). Tesis: Incidencia del Cemento Portland Anhídrido y Prehidratado para el Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo para la Utilización en Base y Subbase de Carreteras. Guatemala.

- Salinas Fuentes, Jorge. (2003). Proyecto de Grado: Influencia de la Prehidratación en la Resistencia del Hormigón en la Ciudad de La Paz. La Paz, Bolivia.

- Ramos Maita, Ángel. (1998). Proyecto de Grado: Comportamiento del Cemento Portland Puzolánico Yura "Perú" respecto al Cemento Portland Normal de Industria Nacional. La Paz, Bolivia.

- Rincón Gutiérrez, Paola. (2006). Tesis: Evaluación del Fenómeno de Formación de Grumos y/o Endurecimiento Prematuro en los Cementos Ensacados en Cementos Paz del Rio S.A. Bucaramanga, Colombia

- Norma boliviana NB

- Norma americana ASTM

# SUELOS COLAPSABLES

Victor Bermejo Franco MSc.


## RESUMEN

El artículo hace referencia de manera informativa, a los suelos colapsables, remarcando su definición, características, clases, su localización en la ciudad de La Paz y la manera de determinar si un suelo es colapsable mediante ensayos de laboratorio.


## DEFINICIÓN

Se puede decir que un suelo es colapsable si es propenso a sufrir un colapso definitivo, es decir que en condiciones de excesiva humedad principalmente, rápidamente pierden su escasa estabilidad hasta llegar a la falla total.

Estos suelos son a veces engañosos principalmente en estado seco, cuando aparentan buena estabilidad, por tales circunstancias son motivo de preocupación para los ingenieros de suelos y fundaciones y para los constructores de obras civiles en general.

Los suelos colapsables tienen comportamiento diferente unos de otros, por tal razón es conveniente realizar una investigación en cada caso. De manera general, se puede indicar que unos colapsan casi instantáneamente cuando llegan a la saturación, otros se hunden lentamente con cierta aceleración menguada hasta su desmoronamiento total, algunos colapsan por la desecación del agua de sus poros, debido a la construcción de obras de drenaje adyacentes, ya que no pueden soportar por si mismos las presiones que actúan sobre ellos sin la ayuda de la presión neutra del agua; otros colapsan por tener humedad natural en los límites de su estado plástico, como las arcillas muy expansibles que se deforman lentamente bajo la acción de presiones relativamente pequeñas.

El fenómeno del colapso estructural de un suelo es irreversible, sin embargo, se observa que después de producido este, existe cierta tendencia a recuperar su estructura original por mucho que la carga continúe. La mayor o menor velocidad de recuperación es función directa de la tixotropía del material.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS COLAPSABLES.

Se caracterizan por los siguientes datos técnicos:

a) Tienen una gran cantidad de poros con una relación de vacíos $e \geq 0.9$.

b) Son de formación geológica reciente, es decir, sin el tiempo tectónico requerido para estratificarse, por eso son del tipo aluvial, eólico, coluvial, glacial y residual.

c) Son suelos inestables que se hallan sobre el nivel freático, por tanto, no se saturan nunca y si lo hacen por cualquier motivo pueden sufrir un colapso en su estabilidad.

d) Sufren fácilmente de erosión tubificada bajo la acción de líneas de flujo, que disuelve sus cristales arcillosos y desmorona los puentes floculares de su estructura.

e) En el ensayo de dispersión, se dispersa antes de los 30 segundos; en este ensayo, en un vaso de cristal con 500 cm3 de agua destilada o agua orgánica, se coloca 2 gramos de suelo inalterado y si es colapsable de dispersa.

## CLASES DE SUELOS COLAPSABLES.

Se encuentran los siguientes: los loess, las dunas, las cenizas volcánicas, suelos coluviales y suelos limo arcillosos deslizados.

**SUELOS COLAPSABLES EN LA CIUDAD DE LA PAZ Y SUS ALREDEDORES**.

**a) Región de Achocalla,** donde abundan los materiales residuales de anteriores y progresivos deslizamientos, mezclados con antiguos y recientes torrentes de barro, existen muestras de pronunciada erosión tubificada .

**b) Zona de Achachicala,** en el sector del deslizamiento de la autopista, cuya estabilización parcial ha sido realizada por el anterior SNC.

**c) Zona de Tembladerani,** similar a la de Achocalla, pero con preponderancia de los torrentes de barro y las corrientes de agua subterránea.

d) casi todas las zonas situadas en las laderas ubicadas al pie de la Ceja de El Alto, con características similares a las de Achocalla.

**e) Las zonas del altiplano** donde existe el denominado "poke" o toba volcánica; estas zonas pueden considerarse como colapsables desde el punto de vista vial, puesto que en la carretera La Paz- Oruro, se observa cierta inestabilidad de la plataforma. El "poke" tiene hasta tres humedades óptimas de alrededor del 30%, en algunos ensayos de compactación; un CBR real de aproximadamente 12% y un aparente de 40%.

**ENSAYOS BÁSICOS DE LABORATORIO.-**

a) contenido de humedad, tanto en época de lluvia como en estiaje.

b) Límites de Atterberg e Indices del suelo, entre estos se mencionan el LL, LP, LC, IP e IC. El ensayo de contracción será realizado con muestras alteradas e inalteradas para establecer una orientación de su estructura natural.

c) Densidad en sitio, para determinar la relación de vacíos natural.

d) Peso específico.

e) Compresión no confinada.

f) Clasificación, después de su análisis granulométrico.

g) Hidrometría.

Entre otros ensayos complementarios que pueden considerarse fundamentales, se señalan a los siguientes:

a) S.P.T., para conocer el perfil geotécnico resistente del subsuelo.

b) Pruebas geofísicas, para localizar cavernas, grutas y túneles causados por la tubificación de las aguas subterráneas.

c) Consolidación, para determinar los asentamientos finales.

d) Ensayos triaxiales con muestras inalteradas y alteradas tanto de época de lluvia como de estiaje.

Para conocer las características de un suelo potencialmente colapsable, es necesario determinar los índices señalados a continuación:

**CÁLCULOS PARA DETERMINAR SI UN SUELO ES O NO COLAPSABLE.**

a) Fórmula de Prinklonskij.

$$cc = \frac{LL - \%\ H_{nat}}{IP}$$

NP = [ IP=0 ; LL=LP]

Donde:

CC = Coeficiente de colapsabilidad, similar al Índice de consistencia IC.

$\%H_{nat}$ = Porcentaje de humedad .natural en sitio.

LL = Límite Líquido.

IP = Índice de plasticidad.

CC≤ 0 Suelo colapsable.

0.0 < CC < 0.5 Suelo propenso a colapsar.

0.5 < CC < 1.5 Suelo no colapsable.

1.5 < CC Suelo con esponjamiento, no colapsable.

b) Fórmula de Denisov.

$$cc = \frac{e_{LL}}{e_{nat}}$$

NP = [ IP=0 ; LL=LP]

Donde:

$e_{LL}$ = Relación de vacíos en el Límite Líquido.

$e_{nat}$ = Relación de vacíos en estado natural.

El colapso ocurrirá cuando la relación de vacíos del suelo en estado natural es mayor que la relación de vacíos correspondiente al Límite Líquido.

Fórmula de la URSS.

$$cc = \frac{e_{nat} - e_{LL}}{1 + e_{nat}}$$

NP =[ IP=0 ; LL=LP]

Dónde:

CC= Coeficiente de colapsabilidad.

$e_{nat}$= Relación de vacíos en estado natural.

$e_{LL}$= Relación de vacíos en el Límite Líquido.

sw = % $H_{nat}$ x $G_s$ /$e_{nat}$ = Grado de saturación natural.

sw ≤ 0.6 ; CC ≥ -0.1 Suelo colapsable.

c) Fórmula de Gibbs (1961), establece una Relación de colapso (R) igual a:

$$R = \frac{H_{SAT}}{H_L}$$

El colapso ocurrirá cuando la humedad de saturación del suelo ($H_{SAT}$) es mayor a la humedad en el Límite Líquido ($H_L$).

## CONSIDERACIONES FINALES.

a) Los Índices de colapsabilidad son una función de la humedad natural del suelo, en su condición más crítica.

b) Para el caso de suelos no plásticos, se considera que su Índice Plástico es igual a cero y su Límite Líquido es igual a su Límite Plástico.

## BIBLIOGRAFÍA


- Ballester B. Máximo (1994). Mecánica de Suelos, 1era. Ed. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

- Redolfi R. Emilio (2007), Suelos Colapsables. Universidad Nacional de Cordova, Argentina.

# TRANSPORTE ELECTRO-CINÉTICO COMO REMEDIACIÓN AMBIENTAL EN SUELOS

Gricel Alcira Portillo Miranda

*gricelp@gmail.com*

## RESUMEN

La electrocinesis es una técnica que tiene gran potencial para la remoción de contaminantes del suelo y puede ser aplicada en suelos, sedimentos o agua subterránea.

El siguiente artículo, presenta un trabajo experimental, destinado a evaluar la eficiencia de una remediación de sedimentos contaminados por metales pesados, enfocando específicamente la remoción de cromo del sedimento.

Dicho programa experimental fue constituido por una serie de ensayos donde fueron evaluados: el tipo de electrodos, duración de los ensayos y gradiente de potencial eléctrico. En cada ensayo se determinaron las características del suelo antes y después del tratamiento, para determinar la eficiencia de la descontaminación.

Los resultados demostraron que dentro de una remediación ambiental de suelos utilizando la técnica de la electrocinesis, el fenómeno de electrólisis producida en el medio acuoso puede corroer los electrodos de acero inoxidable, por lo que es recomendable utilizar un material inerte como el grafito. Por otra parte se verificó la movilización del cromo dentro del sedimento como fruto de la electro migración y flujo electro-osmótico, mostrando eficiencias de hasta 13,5% de remoción.

**Palabras clave:** Electrocinesis- Remediación ambiental- Contaminación de suelos - Cromo - Electroremediacion.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se encuentra dentro de la línea de investigación de Geotecnia Ambiental enfocando la remediación de sedimentos. Durante décadas, diferentes tecnologías de remediación de sedimentos están siendo estudiadas y aplicadas, llevando en consideración, tipo y cantidad de substancia contaminante, características del sedimento y el futuro uso del suelo del lugar contaminado.

Autores como ,Acar, Y.B &Alshawabkeh, 1993, Reddy et al. 2002, sugieren que las mejores tecnologías son aquellas que son aplicadas in-situ, por causar menor exposición del contaminante a los profesionales, al público y a la vecindad, y en forma general son menos complicadas y más económicas.

La electrocinesis se basa en la aplicación de una corriente eléctrica de baja tensión entre dos electrodos dispuestos en una matriz porosa donde materiales con carga eléctrica son transportados en dirección a uno de los electrodos. La remoción del contaminante estará en función de las características del suelo, tamaño de las partículas, pH y contenido de materia orgánica. (Ugaz et al. 1994).

Dentro de las tecnologías in-situ, la electrocinesis ofrece varias ventajas para la descontaminación de sedimentos con metales pesados, su costo no es muy elevado, puede ser aplicada para remediación de un amplio número de substancias peligrosas y además puede ser usada para suelos finos (Acar&Alshawabkeh, 1993). Según Reddyet. al. (2002) comparada con las tecnologías convencionales, la electrocinesis tiene las siguientes ventajas:

- Simplicidad: es de fácil operación y el equipo a ser usado es bastante simple.
- Seguridad: la exposición del personal a los contaminantes que operan el equipo es reducido.
- Economía: los costos varían entre 30 y 300 dólares el metro cúbico, dependiendo de las condiciones específicas.

- Flexibilidad: puede ser usado in-situ o en caso de no tener espacio puede ser aplicado ex-situ.

La técnica electrocinética implica una instalación de electrodos alrededor del área contaminada. Después de instalar los electrodos, un potencial de corrientes es aplicado, atravesando del ánodo (electrodo con carga positiva) hacia el cátodo (electrodo con carga negativa). Como resultado del gradiente eléctrico, ocurren diferentes reacciones físico-químicas y el transporte de especies iónicas.

Generalmente la migración es mayor si la molécula se encuentra soluble, y en el caso de estar adsorbida, primero se debe pasar por un proceso para solubilizarla en el agua intersticial del suelo para ser adecuadamente transportada a los reservatorios del fluido en contacto con los electrodos. Este fluido contaminado es separado y tratado por los métodos convencionales.

Es necesario el entender las reacciones físico-químicas en el proceso de transporte del contaminante para que se haga una aplicación adecuada de esta técnica (Reddyet. al., 2002). Entre los fenómenos fisico-quimicos observados durante un ensayo electrocinético podemos observar, migración iónica, electro-osmose, potencial de corriente y electroforesis.

Por otra parte las reacciones electroquímicas de los electrodos, la electro-osmosis y la electromigración, causan diferentes procesos en el suelo, como reacciones de solubilidad, precipitación, reducción, y cambios en el potencial de carga de las partículas de suelo destruyendo las estructuras de los minerales de la arcilla, mediante condiciones ácidas e intercambio iónico(Acar et al., 1995).

Para remediar un lugar contaminado pueden ser combinados diferentes procesos. En el caso de la remediación electrocinética, ella puede ser completada con un tratamiento biológico, ya que los microorganismos consumen la materia orgánica y solubilizan los metales pesados (Schmidt (2004), Rocha (2005), Mergulhão (2002)). Estos microorganismos ayudarían en la movilización de las cargas iónicas que son cargadas por los electrodos.

Otra posibilidad es la complementación del proceso electrocinético con plantas tolerantes a los metales pesados, capaces de realizar una fitoremediación a través de bioacumulación, removiendo los metales que no fueron removidos por electrocinesis. (O´Connor et al., 2003).

En las últimas décadas los profesionales en el área ambiental vienen utilizando la técnica de electrocinesis para descontaminar suelos y aguas subterráneas. Esa técnica también es conocida como remediación electrocinética, electroremediación o descontaminación electroquímica.

## 2. OBJETIVO

Evaluar el transporte de cromo en la remediación electrocinética de un sedimento recolectado en el fondo de la Baia de Guanabara, Rio de Janeiro . Brasil. (Figura Nº 1).

***Figura Nº 1:*** *Imagen del área de estudio, Baia de Guanabara, Rio de Janeiro, R.J.Brasil.*

Determinar la eficiencia de la electrocinesis en la remoción de cromo en el sedimento, bajo diferentes voltajes, utilizando agua del mismo local como fluido electrolítico y electrodos de diferentes materiales.

## 3. MÉTODOS.

### Características del sedimento

La distribución granulométria del sedimento indica, arena gruesa 2.1%, arena media 1.7%, arena fina 15.9%, limo 44.6%, arcilla 36.7%. Los límites de consistencia, límite liquido 66.8%, limite plástico 43.7% y el índice plástico 25.2%, la densidad relativa de las partículas(Gs) es 2.42. El mineral de arcilla presente es la caolinita, determinado por difracción de rayos X.

**Descripción del equipo electrocinético.** El equipo utilizado en los ensayos de electrocinesis fue desarrollado en el laboratorio de Geotecnia y Medio Ambiente de la PUC-Rio. Este equipo se sostiene sobre un soporte de acrílico como se puede ver en la Figura Nº 2 y está compuesta básicamente por tres compartimientos: uno central de 5 cm de largo y4.6 cm de diámetro donde se coloca el sedimento y dos laterales de 9cm de largo cada uno, con capacidad de aproximadamente 110mL, lleno con el fluido electrolito (se utilizó agua de la Bahía de Guanabara)

***Figura Nº 2.*** *Equipo utilizado*

Los electrodos están posicionados en los extremos de los compartimientos laterales como puede ser observado en la Figura Nº 3, fijados a estos mediante una placa de acrílico, y conectados a una fuente a partir de la cual será generada la corriente eléctrica (se utilizaron electrodos de acero inoxidable y grafito).

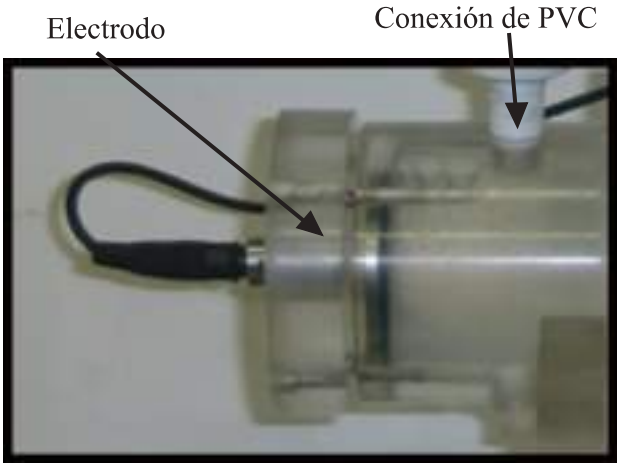



***Figura Nº3.*** *Vista del electrodo.*

Los compartimientos laterales del equipo son recipientes de los electrólitos, unidos al compartimiento central mediante tornillos. En la parte superior de cada recipiente de los electrolitos existe una conexión de PCV que permite colocar una pipeta de 10 cm3 donde es posible medir la variación del volumen de los electrolitos y también permite la salida de gases.

El flujo electro-osmótico se puede observar por el movimiento del fluido en las pipetas instaladas en la parte superior de cada compartimiento lateral como esta mostrado en la Figura Nº 4.

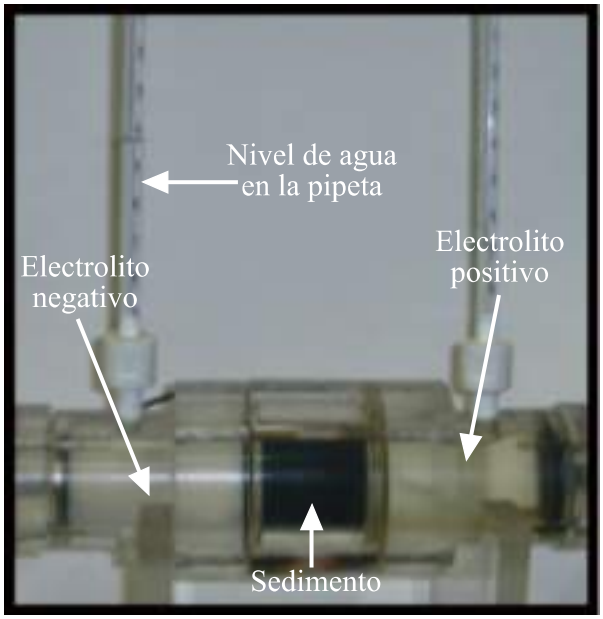



***Figura Nº 4.*** *El flujo electro-osmótico*

**Ensayos electrocinéticos.**

**Preparación del cuerpo de prueba.**

El sedimento es homogenizado en un recipiente antes de ser colocado en el compartimiento central del equipo. Se coloca una placa de acrílico, una piedra porosa y un papel filtro como auxilio en la preparación del cuerpo de prueba en el compartimiento central del equipo. Este papel filtro y la piedra porosa, ayudan en la salida de agua libre que se encuentra en el sedimento . Un compartimiento cilíndrico de PVC es utilizado, colocado en la parte superior y el sedimento es colocado por camadas vibrando con la ayuda de una varilla para evitar que se formen burbujas dentro del material. Sobre el sedimento, encajado en el compartimiento de PVC fue colocado un émbolo y encima de este una carga (Figura Nº 5).

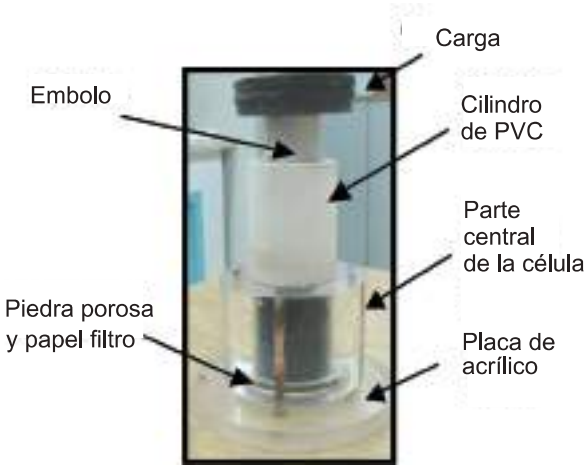



***Figura Nº 5*** *Preparación del cuerpo de prueba*

Después de 48 horas la carga y el émbolo fueron retirados y el exceso del material que quedó en el compartimientocilíndrico de PVC por encima del cuerpo de prueba, fue utilizado para medir la concentración de cromo en el sedimento, el valor de pH y la humedad del sedimento. La base de acrílico fue desmontada y el cuerpo de prueba quedó en el compartimiento central.

**Descripción del ensayo**

Fue montado el equipo electrocinético, armando los tres compartimientos con una interfase de papel filtro entre el sedimento y el fluido, este fluido previamente filtrado fue colocado en los compartimientos laterales y en las pipetas. Fueron conectados los cables a los electrodos y encendida la fuente de corriente con un voltaje constante (Figura Nº 6).

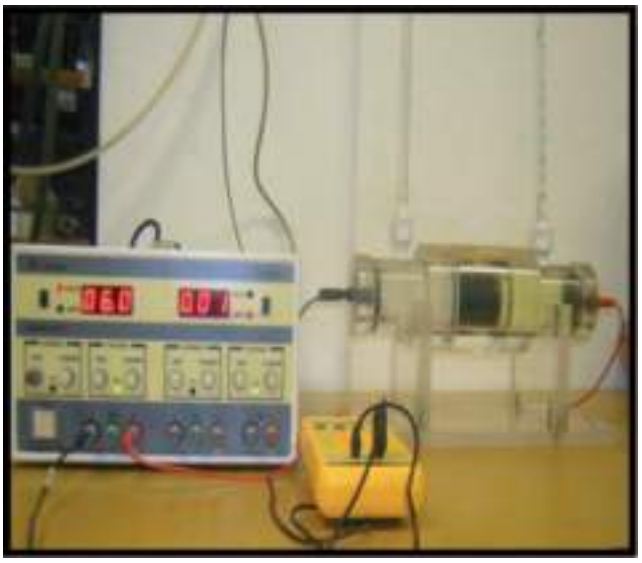


***Figura Nº 6.*** *Ensayo en ejecución*

Durante los ensayos fueron medidos el flujo en laspipetas y la intensidad de corriente.
Al final de cada ensayo el equipo fue desarmado, retirando los tornillos y los papeles filtro. El cuerpo de prueba fue retirado con la ayuda de un pistón de PVC (Figura Nº 7), el sedimento fue colocado en una bandeja de laboratorio y dividido en tres partes. Cada una de estas fue pesada y se realizó la determinación de contenido de humedad, valor de pH y cantidad de cromo presente.

***Figura Nº 7.*** *Material siendo retirado de la célula electrocinética.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Ensayos de eletrocinesis con electrodos de acero inoxidable.**

Fueron realizados 3 ensayos de electrocinesis utilizando electrodos de acero inoxidable, con diferentes periodos de duración de la aplicación del campo eléctrico, después de cada ensayo se pudo observar un color verde oscuro en el compartimiento lateral del ánodo, que sugería la presencia de cromo con un pH acido entre 1,9 y 3,5.

El contenido de cromo total en los electrolitos del ánodo varió entre 36,8 mg y 270 mg, siendo la masa total de cromo obtenido en los electrolitos mayor que aquella presente en el cuerpo de prueba. Por tanto no puede considerarse válido el uso de electrodos de acero inoxidable en remediación de suelos a través de la técnica de electrocinesis.

**Ensayos de electrocinesis con electrodos de grafito.**

En consecuencia de los resultados con los electrodos de acero inoxidable obtenidos anteriormente, se

decidió cambiar a electrodos de grafito, por ser un material inerte.

Fue medida la concentración de cromo en el cuerpo de prueba antes y después de los ensayos. Se puede observar que después de la electrocinesis, en los tres ensayos la concentración de cromo disminuyó. El cromo tuvo un movimiento a través del sedimento principalmente debido a la electromigración y al flujo electro-osmótico. Parte del cromo se mueve en dirección al ánodo y parte en dirección al cátodo.

En el sedimento no se realizó la diferenciación entre Cromo (III) y Cromo (VI) ni antes del proceso electrocinético ni después de él. Con los resultados del grafico de la Figura Nº 8 pudo observarse un movimiento de los iones de cromo en dirección al ánodo y al cátodo con ensayos de 24 horas de duración.

La eficiencia de remoción de cromo fue 13.5% con un voltaje de 1.4 V/cm en el ensayo EK9, 10.16% con un voltaje de 1.3 V/cm en el ensayo EK10 y 7.7% con un voltaje de 1.2V/cm en el ensayo EK 11. Con un comportamiento lineal de la eficiencia respecto al voltaje. .

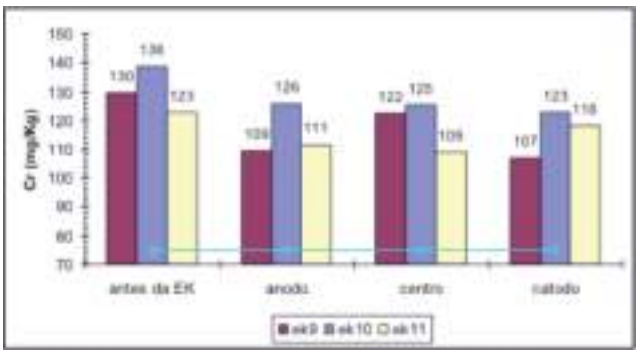



***Figura Nº 8.*** *Concentración de cromo antes y después de la electrocinesis.*

## CONCLUSIONES.

La eficiencia máxima encontrada en el programa experimental en relación a la remoción de cromo fue 13.5% con un voltaje de 1.4 V/cm.

Los resultados sugieren que la utilización de electrodos de grafito aumentan la eficiencia de remediación. El movimiento de cromo en la electrocinesis fue debido a la electromigración y al flujo electro-osmótico; parte del cromo en forma de compuestos aniónicos se mueve en dirección al ánodo y otra parte en forma cationes o compuestos catiónicos en dirección al cátodo.

El valor del pH en los ensayos dependió del tiempo de duración del ensayo y también de la corriente eléctrica aplicada, mientras mayor la corriente y el tiempo de duración, menor fue el pH en las cercanías del ánodo y mayor en las cercanías del cátodo.

## REFERENCIAS


- Acar, Y. B. And Alshawabkeh, A. N.(1993) Principles of Electrokinetic Remediation. Environmental Science and Technology, Feature Article. Vol. 27, No. 3, p. 2638 -2647.

- Acar,Y.B. Galé R.J. Alshawabkeh A.N. Marks R. E. Puppala S: Bricka,M. Parker, R.,(1995) Eletrokinetic remediation: Basic and technology status, Journal of Hazardous Materials. V 40 p. 117-137

- Mergulhão A.J.P.P. (2002) Injeção de nitrato de amônio em solo residual por eletrocinese e seu efeito sobre a sobrevivência da microbiota nativa. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

- O´Connor, Cs, Lepp, Nw, Edwards, S.R., Sunderland, G. (2000) The combined use of electrokinetic remediation and phytoremdiation to decontaminate metal - polluted soils: a laboratory-scale feasibility study. Environm. Monitor. Assess. v84 p. 141-148.

- Portillo M.G.A., Ararruna J.J.T., Pessoa M.D (2008) Transporte eletrocinético de cromo em sedimentos da Baía de Guanabara. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Reddy, K. R., Saichek, R. E ,Maturi K. Ala P. (2002) Effects of soil moisture and heavy metal concentration on electrokinetic remediation. IndianGeotechnicaljournal, V32(2).

- Rocha U.N.N (2005). Transporte eletrocinético e dinâmica dos efeitos da desnutrição sobre a superfície celular e adesão de bactérias Viçosa : Dissertação de mestrado . Universidade Federal de Viçosa.

- Schmidt C. A. B. ( 2004) Aplicação de técnica eletrocinética em Laboratório a Dois Tipos de Solos Argilosos,Tese de Doutorado COPPE/UFRJ Engenharia Civil.

- Ugaz, A., Puppala, S., Gale R. J., Acar, Y. B., (1994), "Electrokinetics Soil Processing. Complicating Features of electrokinetic remediation of soil and slurries saturation effects and the role of the cathode eletrolysis", Chem. Eng. Comm, Vol. 129. pp 183- 200.

# "ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MORTEROS DE JUNTA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE REACONDICIONAMIENTO"

Cristhian Marcelo Ariñez Sangüeza
Verónica Tatiana Gallardo Tapia
Jorge Echazú Cortez

*vgallardo@umsa.bo jechazuco@gmail.com*

**RESUMEN.-**

Se pretende conocer el comportamiento de la resistencia a compresión y la adherencia por tracción directa al ladrillo cerámico de dos tipos de mortero: uno con cemento y arena (con proporción 1:3 en volumen) y otro con cemento cal y arena (con proporciones 1:0.5:4.5 en volumen), cuando son reacondicionados para 5 intervalos de tiempo: 20, 40, 60, 120 y 180 minutos; y comparar esos resultados con los de una muestra patrón sin reacondicionar. Los resultados obtenidos para edades de 28 y 56 días, muestran que es posible reacondicionar ambos tipos de mortero hasta 2 horas sin sufrir una pérdida significativa de la resistencia a compresión. En cuanto a la adherencia por tracción directa, se pudo evidenciar que no existe pérdida significativa de resistencia si se reacondiciona en un periodo de hasta 3 horas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mortero se puede definir como la mezcla de uno o más materiales aglutinantes (cemento Portland, cal y/o yeso), agregado de relleno (arena) y agua, que dan lugar a la formación de una masa plástica y fluida, que posteriormente se rigidiza y endurece. Generalmente se usa como mortero de junta para adherir unidades de mampostería (ladrillos, bloques de hormigón, piedras, etc.) y formar muros, que pueden desempeñar una función estructural cuando el mortero ha endurecido.

Los morteros en estado fresco, recién mezclados, presentan una buena trabajabilidad (o facilidad de manejo), pero en la etapa de colocado existe una pérdida de agua por evaporación debido a las condiciones ambientales (calor y humedad relativa baja) con una consiguiente pérdida de trabajabilidad.

Debido a los factores antes mencionados, los albañiles acostumbran añadir agua al mortero que aún no se ha utilizado, cuando todavía está en estado fresco, para que "recupere su trabajabilidad". A esta práctica se denomina ***"reacondicionamiento".***

Es importante saber que mientras mayor es la cantidad de agua de amasado en la mezcla, menor es la resistencia a compresión. Por otro lado, cuando el mortero está en estado fresco es importante mantener una buena trabajabilidad para garantizar una fácil y eficiente colocación y una buena adherencia.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer el comportamiento de la resistencia a compresión y adherencia al ladrillo cerámico de morteros de junta con relación al reacondicionamiento de la mezcla realizado en diferentes intervalos de tiempo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la resistencia a compresión y la adherencia al ladrillo cerámico de dos tipos de morteros "patrón" con proporciones en volumen:
  - 1 cemento: 3 arena (M1)
  - 1 cemento: 0,5 cal: 4,5 arena (M2)
- Determinar la resistencia a compresión y la adherencia al ladrillo cerámico de los mismos morteros indicados en el inciso anterior, después de 5 tiempos de reacondicionamiento: 20 min, 40 min, 60 min, 120 min y 180 min.

- Determinar la Retentividad de los dos "morteros patrones"

- Realizar una comparación de los resultados obtenidos para determinar hasta que momento es posible reacondicionar los morteros sin afectar significativamente sus propiedades mecánicas.

## 3. ALCANCE Y LIMITACIONES

Las normas que se emplearon para la presente investigación son:

- ASTM C-109 "Método estándar de ensayo para la resistencia a compresión de mortero de cemento"

- ASTM C-1583 "Método estándar para resistencia a tracción de las superficies de concreto (bond tester).

- ASTM C-1506 "Método estándar para la Retentividad de morteros".

Los Materiales que se emplearon son:

- Cemento "Viacha Estándar IP-30".
- Cal de la calera "Collana".
- Arena procedente de "Mallasilla".
- Ladrillos acanalados de 6 huecos de "INCERPAZ".

La presente investigación se realizó en los ambientes del "Instituto de Ensayo de Materiales" I.E.M, con equipos y accesorios disponibles en el mismo.

El reacondicionamiento se realizó para una fluidez constante de 110 ± 5 en la mesa de flujo. Cada reacondicionamiento se realizó para todo el material mezclado. El mortero se conservó en el recipiente de mezclado expuesto al medio Ambiente.

La humedad relativa en el momento de vaciado estuvo entre 50 y 60 % y la temperatura en 20± 2ºC.

## 4. MARCO TEORICO

Aunque el mortero de junta forma solamente entre el 10 y el 20 % del volumen total de un muro de mampostería, la influencia en el comportamiento mecánico del mismo es mucho mayor1. Además de adherir las unidades de mampostería, el mortero influye también en el acabado y la impermeabilidad del conjunto. Durante el amasado, el material aglomerante rellena los huecos y envuelve a las partículas de agregado para darles primero lubricación de manera que los granos puedan deslizarse fácilmente entre sí, y luego cohesión y resistencia mecánica. La cal mejora la retentividad (capacidad de retención) del agua de amasado y por tanto la plasticidad de la mezcla. Por ello es muy recomendable su utilización en pequeñas proporciones.

Se denomina trabajabilidad a la combinación de fluidez y consistencia de la mezcla. Se entiende por fluidez a la capacidad de deslizamiento que tienen las partículas entre sí; y por consistencia, a la cohesión del conjunto. Una buena trabajabilidad asegura una colocación rápida y adecuada del mortero sobre la superficie de las unidades de mampostería.

Cuando el mortero no es colocado inmediatamente, las reacciones de hidratación del aglomerante, así como el proceso natural de evaporación del agua de la mezcla, van reduciendo paulatinamente la trabajabilidad. Por este motivo es necesario devolverle la trabajabilidad al conjunto para poder colocarlo adecuadamente después de que ha transcurrido algún tiempo. Esto se suele hacer aumentando agua y volviendo a mezclar vigorosamente. Como se mencionó antes, a ese procedimiento se denomina ***reacondicionamiento***, y es un procedimiento muy usual entre los albañiles puesto que resulta más cómodo preparar una porción mayor de mezcla para ir colocándola paulatinamente, que preparar varias porciones menores.

La norma norteamericana ASTM C 270 recomienda que el mortero sea utilizado antes de las dos horas y media de su preparación, con opción de reacondicionar tantas veces como sea necesario dentro de ese lapso.

Se denomina ***tiempo de reacondicionamiento*** al periodo de tiempo transcurrido, entre el momento en que el mortero está listo para su aplicación (después del primer mezclado), y el momento en el que se le añade agua para devolverle la trabajabilidad.

Una vez que el mortero ha endurecido en el lugar donde prestará servicio, interesan dos propiedades en especial: la resistencia a compresión para asegurar

la correcta transmisión de las cargas a las que es sometido el muro y la adherencia a las piezas de mampostería para asegurar la actuación del conjunto como un elemento monolítico.

Como es bien sabido, la resistencia a compresión del mortero depende de muchos factores, entre los que se encuentran principalmente: los componentes de la mezcla y sus proporciones, el contenido de agua y el curado. Una mayor resistencia del mortero implica también una mayor resistencia del muro de mampostería aunque en una proporción mucho menor (se requiere alrededor de un 130 % de incremento en la resistencia del mortero para conseguir aproximadamente un 10 % de incremento en la resistencia del muro de mampostería[2)].

En lo que respecta a la adherencia, ésta puede interpretarse como el "engrape" mecánico que debe existir entre el mortero y las piezas de mampostería. Ésta se debe fundamentalmente a la penetración de agua con partículas de aglomerante en suspensión, dentro de los poros expuestos de los mampuestos. Una vez que las partículas de aglomerante se han hidratado, se conforma un enlace mecánico que permite a los dos materiales actuar como un conjunto absorbiendo las tensiones normales y tangenciales que se producen en la superficie de contacto asegurando además la impermeabilidad de la mampostería.

La adherencia depende en gran medida de la correcta colocación del mortero sobre los elementos de mampostería, lo que a su vez depende de una adecuada trabajabilidad. La adherencia depende también de la retentividad del mortero y del grado de absorción (succión) de los mampuestos, de la rugosidad de sus caras y de otros factores relativamente menos importantes. Como ya se indicó antes, una buena adherencia garantiza una correcta interacción entre el mortero y los mampuestos para garantizar el comportamiento monolítico de la mampostería.

La resistencia a la adherencia del mortero puede determinarse de varias maneras:

- Mediante ensayos de tracción directa.
- Mediante ensayos de flexión de una viga formada por mampuestos colocados uno sobre otro y adheridos con mortero de junta.
- Mediante ensayos de corte.
- Por medio de ensayos de corte por torsión.

En el presente proyecto se ha elegido el ensayo de adherencia por tracción directa con el método de la norma ASTM C 1583, por considerarse el más confiable, toda vez que se cuenta con el equipo necesario. Se hace notar que de hecho, los ensayos de adherencia son ensayos que muestran una elevada dispersión por la gran cantidad de factores que influyen en su ejecución.

## 5. MARCO PRÁCTICO

Una vez que los materiales utilizados para la investigación fueron caracterizados, se procedió a vaciar las probetas tanto para los ensayos de resistencia a compresión como para los ensayos de adherencia por tracción directa. Los vaciados se realizaron de acuerdo al esquema que se muestra a continuación.

### 5.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para cada uno de los morteros estudiados (M1 y M2), se realizó el diseño del experimento que se muestra en el Cuadro Nº 1. Se trata de un diseño factorial donde el tratamiento A es el tiempo de reacondicionamiento que presenta 6 niveles: 0 min, 20 min, 40 min, 60 min, 120 min y 180 min; el tratamiento B es la edad de ensayo que presenta solamente dos niveles: 28 días y 56 días. Se hace notar que el primer nivel para el factor A, es decir 0 minutos de tiempo de reacondicionamiento, corresponde a las muestras patrón (una para cada tipo de mortero) que servirán de parámetro de comparación para evaluar los resultados de los otros niveles.

| | Tiempo | TRATAMIENTO "B" EDAD DE ENSAYO | |
|---|---|---|---|
| | [min] | 28 [días] | 56 [días] |
| TRATAMIENTO "A" TIEMPO DE REACONDICIONAMIENTO | 0 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |
| | 20 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |
| | 40 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |
| | 60 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |
| | 120 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |
| | 180 | Repetición 1<br>2<br>3 | Repetición 1<br>2<br>3 |

***Cuadro Nº 1:*** *Diseño del experimento*

## 5.2 TÉCNICA OPERATIVA

El procedimiento para la obtención de las probetas de ensayo fue como sigue: se elaboró una gran amasada y de ella se extrajeron primero las muestras patrón con las que se elaboraron las probetas de ensayo. Se dejó reposar el resto de la amasada en el recipiente de mezclado. Transcurridos 20 minutos, se agregó el agua necesaria para recuperar la trabajabilidad y se mezcló vigorosamente para tomar nuevamente las probetas correspondientes. Este procedimiento se repitió para todos los tiempos de reacondicionamiento y fue realizado para cada tipo de mortero. En las siguientes fotografías se muestra todo el proceso para la obtención de probetas de ensayo.

***Fotografía Nº 1:*** *Amasada en reposo*

***Fotografía Nº 2:*** *Ensayo de fluidez*

***Fotografía Nº 3:*** *Vaciado de cubos para el ensayo de resistencia a compresió*

***Fotografía Nº 4:*** *Ensayo de resistencia a compresión*

***Fotografía Nº 5:*** *Curado de cubos para compresión*

***Fotografía Nº 6:*** *Vaciado de probetas para el ensayo de adherencia*

***Fotografía Nº 7:*** *Elaboración de pastillas para el ensayo de adherencia*

***Fotografía Nº 8:*** *Curado de probetas para adherencia*

***Fotografía Nº 9:*** *Ensayo de adherencia pr tracción directa*

En los morteros patrón se realizó también el ensayo de retentividad que se muestra a continuación:

***Fotografía Nº 10:*** *Ensayo de retentividad*

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

En el Gráfico Nº 1, se muestran los promedios de los resultados de los ensayos de resistencia a compresión para el mortero M1 (cemento y arena).

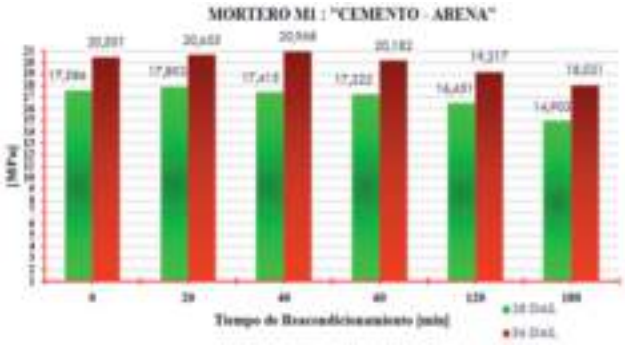



***Gráfico Nº 1:*** *Resistencia a compresión del mortero de cemento y arena*

Estos resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA y a la prueba de Duncan. De este análisis se puede observar que no hay diferencia significativa entre las resistencias a compresión para tiempos de reacondicionamiento de 60 y 120 minutos, en tanto que para 180 minutos sí se evidencia una pérdida de resistencia, tanto para 28 como para 56 días. Esto permite concluir que es posible reacondicionar un mortero de cemento y arena sin pérdida significativa de resistencia a compresión hasta 120 minutos después del amasado.

En el Gráfico Nº 2 se muestran los promedios de los resultados de los ensayos de resistencia a compresión para el mortero M2 (cemento, cal y arena)

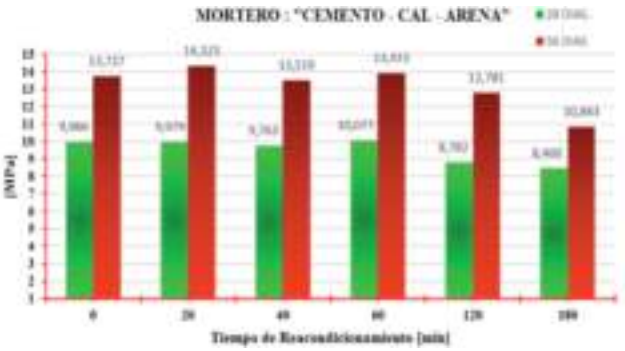



***Gráfico Nº 2:*** *Resistencia a compresión del mortero de cemento, cal y arena*

Estos resultados fueron también sometidos a un análisis de varianza ANOVA y a la prueba de Duncan. De este análisis se puede observar que no hay diferencia significativa entre las resistencias a compresión para tiempos de reacondicionamiento de 60 y 120 minutos, en tanto que para 180 minutos sí se evidencia una pérdida de resistencia, tanto para 28 como para 56 días. Esto también permite concluir que es posible reacondicionar un mortero de cemento, cal y arena sin pérdida significativa de resistencia a compresión hasta 120 minutos después del amasado.

## 6.2 ADHERENCIA POR TRACCIÓN DIRECTA

En el Gráfico Nº 3 y Gráfico Nº 4 mostrados a continuación, se pueden observar los resultados de los ensayos de adherencia por tracción directa, tanto para el mortero de cemento y arena (M1) como para el mortero de cemento, cal y arena (M2).

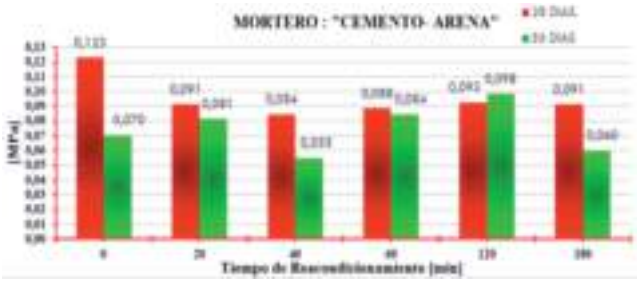



***Gráfico Nº 3:*** *Adherencia del mortero de cemento y arena*

***Gráfico Nº4:*** *Adherencia del mortero de cemento, cal y arena*

El análisis de varianza (ANOVA) de estos dos casos, reveló que no existe diferencia significativa entre ninguno de los resultados en función del tiempo de reacondicionamiento. Esto significa que es posible reacondicionar ambos tipos de morteros hasta 180 minutos después del amasado sin pérdida significativa de la adherencia.

Realizando un análisis integral del comportamiento de la resistencia a compresión y la adherencia después del reacondicionamiento, y tomando en cuenta el grado de influencia de la resistencia a compresión del mortero sobre la resistencia final del muro, podemos indicar que es posible reacondicionar los morteros estudiados (M1 y M2) hasta 180 minutos después del mezclado.

Finalmente en el Cuadro Nº 2, se muestra el resultado de los ensayos de retentividad para cada uno de los morteros estudiados:

| MORTERO | PROPORCIÓN EN VOLUMEN | PROPORCIÓN EN PESO | FLUIDEZ | | RETENTIVIDAD % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | INICIAL | FINAL | |
| M 1 | 1:5 | 1:3 | 97 | 62 | 63.9 |
| M 2 | 1:0,5:4,5 | 1:0,3:7,5 | 96 | 68 | 70,8 |

***Cuadro Nº2:*** *Retentividad de los morteros estudiados*

Como era de esperar, la retentividad del mortero de cemento, cal y arena es mayor que la del mortero de cemento y arena.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de resistencia a compresión, se puede reacondicionar hasta 120 minutos después del amasado inicial sin notar una pérdida significativa de resistencia, tanto para el mortero de cemento y arena como para el mortero de cemento, cal y arena.

- En lo que respecta a la adherencia por tracción directa, se puede concluir que no hay pérdida de resistencia en todo el intervalo estudiado, por lo tanto es posible reacondicionar sin problemas al menos hasta 180 minutos (3 horas) después del amasado inicial.

- En general. el tiempo permitido para realizar el reacondicionamiento de los dos tipos de mortero estudiados: mortero de cemento y arena, y mortero de cemento, cal y arena, será de 180 minutos.

- Como era de esperar, el ensayo de retentividad determinó que el mortero 2 (cemento - cal - arena), presenta mayor retentividad que el mortero 1 (cemento- arena), con una diferencia de 7 unidades porcentuales.

- En el momento de realizar el reacondicionamiento se evidenció que, el mortero 2 (cemento-cal-arena) se puede reacondicionar cada 40 min, en tanto que el mortero 1 (cemento-arena), se debe reacondicionar en lapsos de sólo 20 min.

### 7.2 RECOMENDACIONES

- En el proceso de reacondicionamiento, es importante realizar un mezclado que garantice la homogeneidad del producto.

## 8. BIBLIOGRAFIA


- El Mortero y sus Aplicaciones, Cartilla de Recomendaciones Básicas Nº 7 Instituto Chileno del cemento y del Hormigón.

- Mortero: Cómo especificar y utilizar mortero para mampostería (1994). The Aberdeen Group.

- Manual del mortero (1988). Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón

- NORMA ASTM C 270. Especificaciones para morteros de albañilería.

- Texto base de Materiales de Construcción y Laboratorio, CIV-216 UMSA. Jorge Echazú Cortez. (2005). Segunda revisión.

- Metodología de la Investigación y Diseño Estadístico de Experimentos. Carlos A. Garcia Fernandez y Hugo R. Mesa Sanchez. (2001).

- Dosificación óptima de morteros de junta con aglomerantes cal-puzolana y cemento. A. Terán y G. Salas (2014) Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero civil.

PILOT