



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA PREPARACIÓN DE LECHADA CEMENTICIA  
EN SISTEMAS DE ANCLAJES DE MUROS PANTALLA CON SUELOS GRAVOSOS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

**AUTORES**

Mazuelos De la Cruz, Victor Manuel (0000-0003-0957-2278)

Mercado Chávez, Ramiro Antonio (0000-0002-2661-3994)

**ASESOR**

Sotomayor Cruz Cristian Daniel (0000-0001-8119-1512)

**Lima, 19 de enero de 2020**

## RESUMEN

En las últimas décadas se ha venido trabajando en la estandarización de procedimientos para la preparación e inyección de lechada cementicia destinados a sistemas de anclajes de muros. Sin embargo, aún existe la necesidad de optimizar la formulación y el desempeño de estas lechadas cementicias en cuanto a sus propiedades mecánicas y de trabajabilidad. En este trabajo de investigación se evaluó una gama de diseños de mezclas con contenidos de cemento Portland tipo I entre 980.97 kg/m<sup>3</sup> y 1348.39 kg/m<sup>3</sup>, relación agua cemento (a/c) entre 0.35-0.60 y dos mezclas con aditivo superplastificante de 0.8% del peso del cemento. Se evaluaron los parámetros de fluidez, estabilidad (exudación), y resistencia a la compresión a la edad de 7 días, según las exigencias técnicas de los reglamentos UNE y ACI. Finalmente, se determina el rango óptimo de relación a/c para los requerimientos actuales de los proyectos de edificaciones.

Palabras clave:

Muros anclados, Lechada para inyección, Óptima dosificación de la lechada, Propiedades de la lechada

## ABSTRACT

During the last decades, the standardization of procedures for the preparation and injection of cementitious grout for wall anchoring systems, has been increasingly developed. However, there is still a need to optimize the formulation and performance of these cementitious grouts in terms of their mechanical and workability properties. In this research work a range of mix designs with Portland cement type I contents between 980.97 kg / m<sup>3</sup> and 1348.39 kg / m<sup>3</sup>, water cement ratio (a / c) between 0.35-0.60 and two mixtures with superplasticizer additive of 0.8% of cement weight. The parameters of fluidity, stability (exudation), and resistance to compression were evaluated at the age of 7 days, according to the technical requirements of the UNE and ACI regulations. Finally, the optimum range of a / c ratio is determined for the current requirements of building projects.

Keywords:

Anchored walls, Grout for injection, Optimum grout dosage, Grout properties

## I. INTRODUCCION

El crecimiento del mercado de edificaciones ocasiona que el uso de muros pantalla se incremente de manera directa. Además, a medida que aumenta la profundidad y extensión de las excavaciones en distritos urbanos, el uso de estructuras de retención para superar los problemas relacionados con reducir el asentamiento y aumentar la capacidad de carga se está volviendo más recurrente. El uso de muros de retención anclados ha sido una práctica ampliamente adoptada en ingeniería geotécnica para excavaciones profundas. En la actualidad, existen normativas que se enfocan en especificar los requerimientos técnicos de la lechada cementicia para anclajes (ACI-318-19, UNE-447) [1][2]. Sin embargo, existe la necesidad de optimizar el desempeño de los sistemas de anclajes para asegurar un óptimo comportamiento de estos frente a la prueba de tensado/carga. Uno de los componentes más importantes de los sistemas de anclajes de muros es el bulbo de anclaje, el cual está conformado de lechada de cemento. Las propiedades de la lechada de cemento afectan directamente a la capacidad de adherencia del bulbo en el contacto suelo – lechada de cemento, la cual constituye el parámetro geotécnico fundamental en la fase de diseño, pues es la resistencia por fricción lateral del bulbo, la que permite absorber la carga de postensado aplicada al anclaje. En otras palabras, la capacidad de adherencia del bulbo está asociada directamente con la capacidad de carga de los anclajes postensados [3]. Por lo tanto, este estudio está enfocado en mejorar la calidad del material de inyección (lechada de cemento) a través de la determinación de los parámetros de exudación, fluidez, temperatura y resistencia a la compresión de 10 mezclas de lechada, variando la relación a/c. Estos resultados son analizados y evaluados según las exigencias técnicas de los reglamentos UNE Y ACI con el fin de determinar el rango óptimo de relación a/c en diferentes condiciones de trabajo.

Las investigaciones actuales se enfocan en la mejora del desempeño del anclaje, especialmente durante la prueba de carga. Por un lado, existen investigaciones que realizan el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la lechada cementicia aplicando materiales innovadores a esta. Gopinathan y Anand [4] obtuvieron una mezcla de lechada cementicia para anclajes con mejores propiedades, a través de adiciones minerales (silica fume y puzolana natural). Por ejemplo, la reducción del sangrado sin afectar la trabajabilidad de las mezclas, el aumento de la resistencia a la compresión y la disminución de la

contracción [4]. Otra investigación realizada por Assaad J y Gerges propone el uso de caucho de estireno-butadieno para mejorar la resistencia física de la lechada en condiciones húmedas o sumergidas. Esta se basa en que la presión hidrostática del agua no afecta la unión de los materiales cementantes con la roca debido a las propiedades del látex usado [5]. Por otro lado, las investigaciones se basan también en mejorar la calidad del anclaje, como lo hicieron Fan, Haifeng., Vassilopoulos, Anastasios P., Keller, Thomas, que aplicaron anclajes de polímero reforzado con fibra de carbono, demostrando un mejor desempeño frente a los anclajes tradicionales de acero [6].

## II. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1. Rango óptimo de la dosificación de la mezcla

Con el fin de determinar el rango adecuado de dosificación de las mezclas para inyección, se realizará ensayos a mezclas de lechada para evaluar las propiedades mecánicas y reológicas de esta, a partir de distintas relaciones a/c.

Para la propuesta de mezcla de lechada, se tomó en cuenta las relaciones agua cemento de 0.35 a 0.60 con una variación de 0.05 exceptuando por las principales relaciones agua cemento utilizadas actualmente en el mercado (0.45-0.50), las cuales varían en 0.01, estas se observan en la tabla 2.

#### 2.1.1. Protocolo de mezclado

Los tiempos de mezclado de los materiales usados para las mezclas de lechada se aprecian en la tabla 1 con el fin de realizar las mezclas con el mismo tiempo de mezclado disminuyendo así, las variabilidades y la presencia de grumos.

TABLA 1 Protocolo de preparación de mezclas de lechada cementicia

| Material                        | Tiempo  | Tiempo acumulado |
|---------------------------------|---------|------------------|
| Agua (60%) + Cemento (50%)      | 30 seg  | 30 seg           |
| Agua (20%) + Aditivo (100%)     | 30 seg  | 1 min            |
| Cemento (50%)                   | 1.5 min | 2.5 min          |
| Agua restante (20%)             | 5.0 min | 7.5 min          |
| Si existe presencia de burbujeo |         |                  |
| Reposar la mezcla               | 2.0 min | 9.5 min          |
| Mezclar                         | 2.0 min | 11.5 min         |

### 2.1.2. Parámetros a controlar de la lechada cementicia

Los parámetros necesarios que medir son los siguientes, siendo estos los más importantes según las normas ACI-318-19[1], UNE-447[2] y EHE-08[7].

En estado fresco:

- Fluidez por Esgurrimiento de la lechada, (Norma UNE EN 445: 2007) [8].



Fig. 1. Muestra del ensayo de fluidez

- Exudación (mecha inducida), (Norma EHE-08) [7].



Fig. 2. Muestra del ensayo de exudación

- Temperatura (Norma UNE EN 445: 2007) [8].



Fig. 3. Muestra de temperatura

En estado endurecido:

- Resistencia a la compresión (28 días), (Norma ACI 318-19) [1].

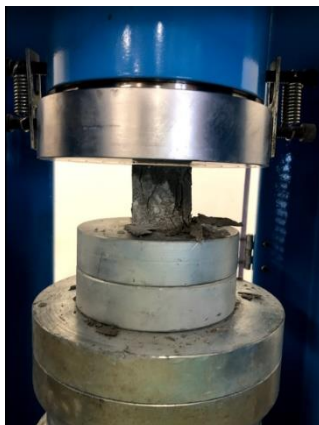


Fig. 4. Prueba de resistencia a la compresión

TABLA 2 Cuadro de la dosificación de las mezclas usadas en laboratorio

| Descripción                    | UND               | M1      | M2      | M3     | M4      | M5      | M6      | M7      | M8      | M9      | M10    |
|--------------------------------|-------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Cemento T-I                    | kg/m <sup>3</sup> | 1348.39 | 1254.42 | 1172.7 | 1157.62 | 1142.91 | 1128.58 | 1114.61 | 1100.97 | 1037.51 | 980.97 |
| Agua                           | kg/m <sup>3</sup> | 471.94  | 501.77  | 527.71 | 532.5   | 537.17  | 541.72  | 546.16  | 550.49  | 570.63  | 588.58 |
| Super-Plastificante retardante | %                 | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%  |
| a/c                            |                   | 0.35    | 0.4     | 0.45   | 0.46    | 0.47    | 0.48    | 0.49    | 0.5     | 0.55    | 0.6    |

### III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Rango óptimo de la dosificación de la mezcla

##### 3.1.1. Exudación

En la figura 5 se presenta una comparación entre la relación agua/cemento y la exudación. La norma EHE-08 establece que el porcentaje de exudación debe ser menor a 2%. Por lo tanto, las mezclas con relaciones a/c 0.55-0.60 no cumplirían con este límite. Se puede observar que el porcentaje de exudación aumenta conforme la relación a/c aumenta. Mientras que la variación de la exudación en las mezclas con relación a/c 0.35 a 0.47 es mínima, (teniendo una variación de 0.42%), esta aumenta considerablemente en las mezclas con



relación a/c 0.47 a 0.6, siendo esta variación más crítica en las mezclas con relación a/c 0.47 a 0.50.

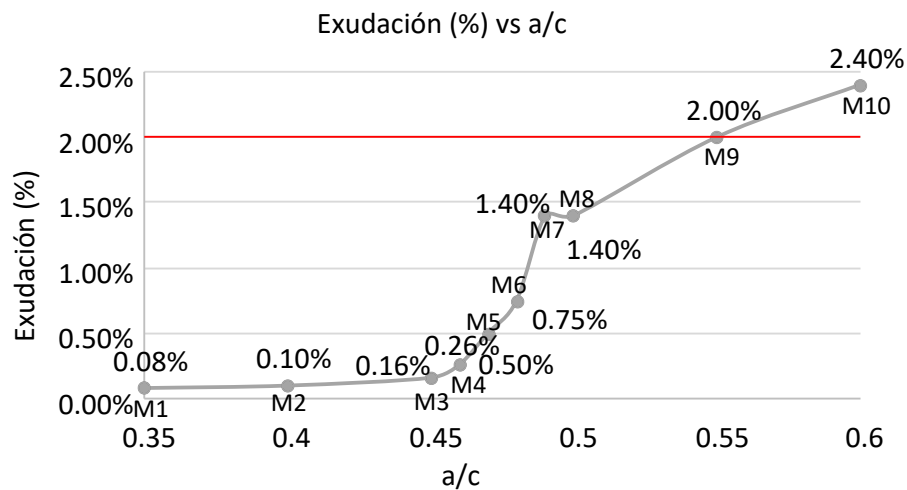


Fig. 5. Gráfico de exudación (%) vs relación a/c, la línea roja representa el límite de exudación que dice la norma EHE-08.

### 3.1.2. Resistencia

A diferencia de la exudación, en la figura 6 la resistencia a la compresión disminuye conforme se aumenta la cantidad de agua en la mezcla. Los valores más elevados de resistencia a la compresión se dan entre las relaciones a/c 0.35 y 0.40 debido a la menor cantidad de agua utilizada en la mezcla. Por un lado, la resistencia a la compresión se mantiene estable en las mezclas M1 y M2 con una variación de 12 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, esta variación se incrementa entre las mezclas M3-M8, siendo esta de 133 kg/cm<sup>2</sup>. Estas dos variaciones se tomaron con una variación de relación a/c de 0.05. La línea roja representa la resistencia a la compresión mínima a los 7 días que dicta la norma ACI 318-2019[1] de 175 kg/cm<sup>2</sup>. Entonces, todas las relaciones a/c empleadas cumplen con lo requerido. Sin embargo, la misma norma ACI 318-19 [1] menciona que por lo general se da mayor importancia a las propiedades de manejo y colocación de lechada de inyección que la resistencia.

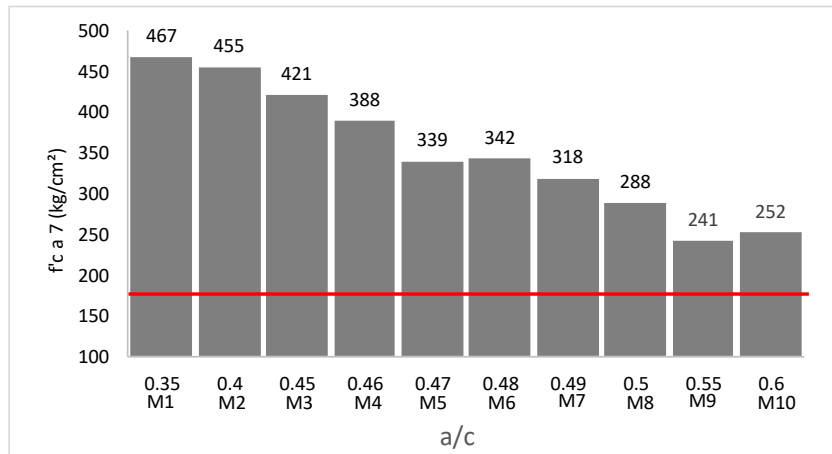


Fig. 6. Gráfico de  $f'c$  a 7 días vs relación a/c, la línea roja representa la resistencia a la compresión mínima que establece la Norma ACI-318-19 a 7 días

### 3.1.3. Fluidez

La figura 7 y la figura 8 representan la fluidez inmediata y a los 30 minutos realizada la mezcla respectivamente. Todas las mezclas realizadas sobrepasan los 14 cm permitidos por la norma a excepción de las mezclas de 0.35 y 0.4 a/c, es decir, esta no posee una adecuada fluidez, debido a ello, se vio oportuno usar un aditivo superplastificante (0.80%), cumpliendo así lo requerido, e incluso superando a la fluidez de las mezclas con 0.45-0.46-0.47 a/c. El uso de este aditivo aumento la fluidez en un promedio de 70%. Se puede apreciar la tendencia ascendente en el gráfico debido a que, la fluidez es mayor cuando hay mayor cantidad de agua. Por último, la fluidez a los 30 min se reduce en promedio un 6.05%.

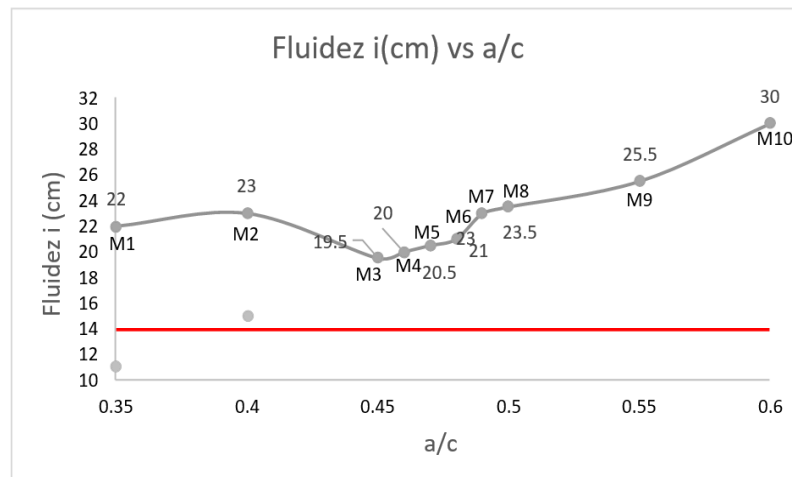


Fig. 7. Gráfico de fluidez inmediata vs relación a/c, la zona roja representa la fluidez  $i$  (cm) para las mezclas 0.35-0.4 sin el uso de aditivo superplastificante.

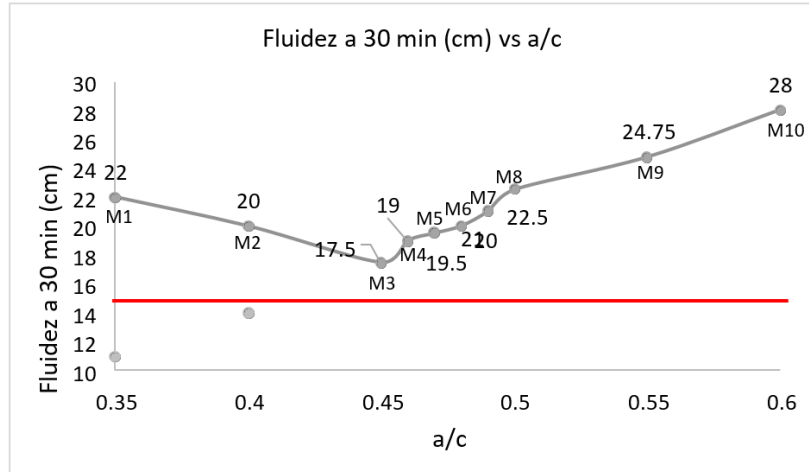


Fig. 8. Gráfico de fluidez a 30 min vs relación a/c, la zona roja representa la fluidez  $i$  (cm) para las mezclas 0.35-0.4 sin el uso de aditivo superplastificante.

Tabla 3 Resumen de los resultados de los ensayos

| Código de mezcla | Relación agua cemento (a/c) | Ensayo de fluidez (cm) medición de extensibilidad |        |               | Exudación (%) | Resistencia a compresión a 7 días (kg/cm <sup>2</sup> ) | Temperatura de la mezcla (Centígrados) | Temperatura del ambiente (Centígrados) |
|------------------|-----------------------------|---|--------|---------------|---------------|---|--|--|
|                  |                             | 0 min   | 30 min | Variación (%) |               |   |  |  |
| M1               | 0.35                        | 22  | 22     | 100.00%       | 0.08%         | 423   | 23.8                                   | 23.8                                   |
| M2               | 0.4                         | 23  | 20     | 86.96%        | 0.10%         | 432   | 21.8                                   | 21.8                                   |
| M3               | 0.45                        | 20  | 18.5   | 92.50%        | 0.16%         | 314   | 21.6                                   | 21.6                                   |
| M4               | 0.46                        | 18.5  | 18     | 97.30%        | 0.26%         | 322   | 23.5                                   | 23.5                                   |
| M5               | 0.47                        | 20.5  | 20     | 97.56%        | 0.20%         | 318   | 23.3                                   | 23.3                                   |
| M6               | 0.48                        | 21  | 20     | 95.24%        | 0.40%         | 342   | 21.3                                   | 21.3                                   |
| M7               | 0.49                        | 22  | 20     | 90.91%        | 1.40%         | 307   | 22.8                                   | 22.8                                   |
| M8               | 0.5                         | 22.75   | 21.5   | 94.51%        | 1.40%         | 288   | 22                                     | 22                                     |
| M9               | 0.55                        | 24.75   | 24.75  | 100.00%       | 2.00%         | 241   | 22                                     | 22                                     |
| M10              | 0.6                         | 35  | 33     | 94.29%        | 2.40%         | 252   | 22.9                                   | 22.9                                   |

### 3.1.4. Temperatura

La temperatura fue caso de estudio, esta se tomó inmediatamente al terminar la mezcla, obteniendo los resultados de la tabla 3. Como se puede apreciar la temperatura máxima es la M1 con 23.8°C y como mínimo la M9 con 22°C.

#### IV. CONCLUSIONES

- Según nuestros resultados el rango óptimo de la relación a/c de la lechada para inyección varía entre 0.45 a 0.50
- La resistencia a la compresión es una propiedad de menor relevancia, ya que todas las mezclas cumplen y superan la resistencia a la compresión mínima a 7 días que dice la norma ACI-318-19[1]. De esta manera, se debe hacer un mayor énfasis en las propiedades de estado fresco de la mezcla como la fluidez y exudación.
- Mezclas con relación a/c mayores a 0.50 sufren una variación drástica en la exudación, por tanto, no se recomienda su uso en climas helados por la disminución de impermeabilidad que esta presentaría.
- El cálculo de fluidez inmediata y fluidez a los 30 minutos presentan una diferencia máxima de 3 cm en sus mezclas. Además, la mezcla 3 de r a/c 0.45 está próxima al valor mínimo de aceptación, por tanto, se debe evitar inyectar la lechada un lapso menor a 30 minutos.
- En caso donde el parámetro de compresión sea de mayor significancia, se debe usar las M1 y M2 con aditivo para no tener problemas con la fluidez ni exudación y obtener una mejor trabajabilidad

## V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACI-318-19, “Requisitos de reglamento para concreto estructural.” 2019.
- [2] UNE-EN 447, Lechadas para tendones de pretensado: Requisitos básicos. 2009.
- [3] J. A. Puelles, “Determinación de la capacidad de adherencia con fines de diseño optimizado de anclajes en suelo,” 2011.
- [4] S. Gopinathan and K. B. Anand, “Properties of cement grout modified with ultra-fine slag,” *Front. Struct. Civ. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 58–66, 2018.
- [5] J. J. Assaad and N. Gerges, “Styrene-butadiene rubber modified cementitious grouts for embedding anchors in humid environments,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 84, pp. 317–325, 2019.
- [6] H. Fan, A. P. Vassilopoulos, and T. Keller, “Pull-out behavior of CFRP ground anchors with two-strap ends,” *Compos. Struct.*, vol. 160, pp. 1258–1267, 2017.
- [7] EHE-08, “Instrucción de hormigón estructural,” 2018.
- [8] UNE-EN 445, Lechadas para tendones de pretensado: Métodos de ensayo. 2009.