



Uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo para modificar las propiedades de la mezcla de cemento utilizado en construcciones civiles

Vizueté Carrillo, Aracely Priscila

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en biotecnología

Dr. Trujillo Toledo, Luis Enrique, Ph. D.

13 de abril de 2021



Document Information

Analyzed document	TESIS ESCRITO URKUND.docx (D101005686)
Submitted	4/8/2021 5:29:00 PM
Submitted by	Trujillo Toledo Luis Enrique
Submitter email	letrujillo3@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	letrujillo3.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Urkund- Tesis Chavez Tamara.pdf Document Urkund- Tesis Chavez Tamara.pdf (D63764616)	 9
-----------	--	---

Firma:



Luis Enrique Trujillo Toledo, Ph. D.
C.C.: 1755850276
Director del Proyecto de Titulación



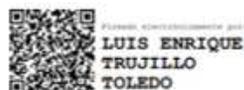
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGIA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “«Uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo para modificar las propiedades de la mezcla de cemento utilizado en construcciones civiles»” fue realizado por la Srta. **Vizuet Carrillo, Aracely Priscila** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de abril 2021

Firma:



Luis Enrique Trujillo Toledo, Ph. D.
C.C.: 1755850276
Director del Proyecto de Titulación



DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Vizute Carrillo, Aracely Priscila**, con cédula de ciudadanía n° 1715609168, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Título “ Uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo para modificar las propiedades de la mezcla de cemento utilizado en construcciones civiles”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 8 de abril 2021

Firma

Vizute Carrillo, Aracely Priscila

C.C.:1715609168



**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Vizete Carrillo, Aracely Priscila**, con cédula de ciudadanía n°1715609168, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Título: “ Uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo para modificar las propiedades de la mezcla de cemento utilizado en construcciones civiles”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 8 de abril 2021

Firma

Vizete Carrillo, Aracely Priscila

C.C.:1715609168

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y mi fortaleza, ya que con su guía y amor ha estado conmigo a lo largo de mi carrera y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes y sobre todo felicidad.

A mis padres Miguel y Patricia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un anhelado sueño, gracias por inculcar en mí sus grandes valores. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi hermana Verónica por su cariño y apoyo incondicional, que me brindo a lo largo de este proceso, por ser un gran ejemplo de desarrollo profesional a seguir y por estar conmigo cuando más la he necesitado.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por creer en mí y por extender su mano en todo momento, gracias por su apoyo y comprensión en esta gran etapa de mi vida, siempre los llevare en mi corazón.

Agradecimientos

Un enorme agradecimiento a mi familia, por ser un soporte y pilar fundamental de inicio a fin en este camino, y quienes han sido un ejemplo de superación y esfuerzo realizado.

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS UFA-ESPE, por darme la oportunidad de estudiar y por facilitarme sus laboratorios para la investigación de tesis, y poder así ser una profesional.

A mis docentes de BIOTECNOLOGIA por la ayuda y las enseñanzas brindadas durante toda mi carrera profesional, ya que han aportado con un granito de arena en mi formación académica.

A mi tutor de tesis, Dr. Luis E. Trujillo, PH. D. y a mi cotutor Dr. Nicolás Páez por su esfuerzo y dedicación, quien gracias a sus conocimientos y experiencia recibida he logrado culminar mis estudios con éxito.

A mis amigos que me han apoyado durante la permanencia Universitaria, en especial a los que me brindaron consejos y apoyo moral en los momentos difíciles.

Índice de contenidos

Herramienta de análisis URKUND	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de Figuras.....	12
Abstract	15
Capítulo I.....	16
Introducción	16
Justificación	17
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos.....	17
Hipótesis	18
Capitulo II.....	19
Revisión bibliográfica	19
Levadura	19
Propiedades de la pared celular de levadura.....	19
Mecanismos de biosorción.....	20
Aditivos biológicos.....	20
Aditivos modificadores de viscosidad VMA.....	21
Goma de Polisacáridos (PSG)	21
Polisacáridos en la pasta de cemento	22

Generalidades del cemento	22
Definición	23
Hormigón autocompactante	23
Curado y secado del cemento	23
Reología	24
Esfuerzo de corte	25
Shear thinning	26
Shear thickening	28
Límite de fluencia	28
Capítulo III	31
Materiales y método	31
Cemento	31
Levadura	31
Agua	32
Aditivo superplastificante Sika viscocrete 4100	32
Reómetro híbrido Discovery 2	33
Geometrías	34
Máquina de ensayos universales	34
Ensayo de resistencia a la compresión	35
Pruebas reológicas	39
Parámetros del Reómetro	40
Capitulo IV	42
Análisis y discusión de los resultados	42
Evaluación de las características físicas	42
Pruebas reológicas	50
Capitulo v	57

Conclusiones y recomendaciones	57
Conclusiones.....	57
Recomendaciones.....	57
Bibliografía	59

Índice de tablas

Tabla 1 Datos técnicos de sika viscocrete 4100	32
Tabla 2 Materiales usados en los experimentos	36
Tabla 3 Combinación de componentes para las mezclas de cemento	36
Tabla 4 Ejemplo de cálculo para ensayo de resistencia	39
Tabla 5 Resistencias del ensayo de compresión a los 7, 14 y 21 días.....	44
Tabla 6 Tiempo de fraguado, antes de retirar del molde.....	46
Tabla 7 Resistencia a los 21 días	47
Tabla 8 Modelo lineal de Bingham de levadura prensada con 0,25 y 0,50% de viscocrete	54
Tabla 9 Modelo lineal de Bingham de levadura seca con 0,25 y 0,50% de viscocrete	54
Tabla 10 Modelo modificado de Bingham de levadura prensada con 0,25 y 0,50% de viscocrete	55
Tabla 11 Modelo modificado de Bingham de levadura seca con 0,25 y 0,50% de viscocrete	56

Índice de Figuras

Figura 1 Cuantificación de la velocidad de corte y el esfuerzo de corte para capas de fluido que se deslizan una sobre otra	26
Figura 2 Curvas de flujo típicas para fluidos shear thinning con una viscosidad de cizallamiento cero y un aparente límite de fluencia	27
Figura 3 Gráficos de esfuerzo cortante / velocidad de corte que representan varios tipos de comportamiento de flujo	29
Figura 4 Resistencia a la compresión norma INEC 490 VC cemento	31
Figura 5 Aditivo superplastificante sika visocrete 4100	33
Figura 6 Reómetro Discovery HR-2	33
Figura 7 Cilindro concéntrico y rotor vane	34
Figura 8 Máquina de ensayo universal para compresión	35
Figura 9 Moldes de 50mm para prueba de compresión	38
Figura 10 Precizalla y valores estacionarios de la velocidad de cizalla	40
Figura 11 Cubo con 1% de visocrete presenta una capa gruesa en la parte superior	42
Figura 12 Cubos con 0,25% de visocrete	43
Figura 13 Resistencia de diferentes mezclas a 7, 14 y 21 días	45
Figura 14 Cubo de 10% de levadura a los 5 días, presentan una consistencia blanda	46
Figura 15 Resistencia a los 21 días con 0,25 % de visocrete (LP) Levadura prensada, (LS) Levadura seca. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar	48
Figura 16 Interior del cubo con concentración de 10% de levadura, formación de poro y cristales	49
Figura 17 Resistencia a los 21 días con 0,50 % de visocrete (LP) Levadura prensada, (LS) Levadura seca. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar	50
Figura 18 Curvas de flujo estacionario de levadura prensada y seca con visocrete 0,25%. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar	51

Figura 19 Curvas de flujo estacionario de levadura prensada y seca con viscocrete 0,50%. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar 53

Resumen

La industria de la construcción es uno de los sectores de mayor importancia económica por lo que tiene un gran crecimiento en investigación para la mejora de los materiales empleados en la misma. El desarrollo de aditivos ha sido uno de los mayores avances en la última década debido a que permite mejorar las propiedades del hormigón, como es el caso del desarrollo del Hormigón Autocompactante (HAC) que con la ayuda de aditivos a concentraciones adecuadas presenta una fluidez para ser usado en encofrados sin tener la necesidad de ocupar métodos de vibración y varillas. Existe una gran variedad de aditivos en el mercado, pero con un costo alto debido a los procesos de obtención de los mismo, por lo que se plantea probar la levadura *S. cerevisiae*, que resulta un material de desecho de la industria de producción del alcohol y contiene materiales de interés en su pared celular, similares a los componentes de los aditivos comerciales, que permitiría su uso como un posible aditivo para mejorar o cambiar positivamente las propiedades del cemento como son : 1- trabajabilidad, 2-resistencia y 3-viscosidad, verificando estas propiedades mediante ensayos reológicos y de resistencia a la compresión.

Los polisacáridos de base biológica son altamente efectivos para ser añadidos en el mortero y o en el hormigón, debido a que estos interaccionan con el cemento, además muchos polisacáridos tienen ventajas en el rendimiento y en los costos sobre polisacáridos sintéticos.

Palabras claves:

- **LEVADURA**
- **REOLOGÍA**
- **ESFUERZO**
- **ADITIVO**
- **VISCOSIDAD**

Abstract

The construction industry is one of the most economically important sector so, it has a great research growth to improve the materials used for its operations. The additives development has been one of the greatest advances in the last decade due to the fact that it allows improving the properties of concrete, as is the case of the development of Self-Compacting Concrete (SCC) which, with the help of additives at suitable concentrations, presents a fluidity for be used in formwork without having to use vibration methods and rods. There is a wide variety of additives on the market, but with a high cost due to the processes for obtaining them, so it is proposed to test the yeast *S. cerevisiae*, which result in a waste material from the alcohol production industry and contains materials of interest in its cell wall, as a possible additive that improves or positively changes the properties of cement such as: 1- workability, 2-resistance and 3-viscosity, verifying these properties through rheological and compressive strength tests .

Biobased polysaccharides are highly effective to be added to mixture and or concrete, because they interact with cement, and many polysaccharides have performance and cost advantages over synthetic polysaccharides

Keywords:

- YEAST
- RHEOLOGY
- STRESS
- ADDITIVE
- VISCOSITY

Capítulo I

Introducción

El beneficio del uso de aditivos en materiales de construcción para mejorar sus propiedades se descubrió en la antigüedad (ASOCRETO, 2018). Ya en 3000 A.C., los Sumerios usaban el betún como aglutinante orgánico y repelente al agua en mezclas con arcilla y paja. Así también los romanos siendo arquitectos magníficos, necesitaban materiales de construcción muy avanzados e inventaron el uso de productos químicos particulares obtenidos de fuentes naturales. Por ejemplo, en su famosa enciclopedia "De architectura libri decem", (84-10 A.C.) describió el uso de biopolímeros como proteínas para el retardo de fraguado de yeso y sangre seca para el arrastre de aire (Vitruvius, 2001) (Vidaud, 2016). Hoy en día, los aditivos que proporcionan propiedades adicionales como plastificación, retención de agua, adhesión, reducción de contracción, etc. están disponibles para la industria de materiales de construcción (Plank, 2004). Sin embargo, el costo de estos aditivos resulta muy caro por lo que se hace necesario buscar otro tipo de aditivo preferiblemente biológico y que constituyan residuos de algunas industrias y utilizarlos con este objetivo.

El caso de la empresa ecuatoriana Soderal, desechan toneladas de levaduras no activas resultantes de su proceso industrial que pueden ser aprovechadas como aditivos microbianos y convertir de esta forma un residuo de deshecho no útil residual de una empresa en un material utilizable en otra industria, aumentando de esta forma el valor agregado del desecho en sí.

Varios grupos de investigación internacionales han estado utilizando con éxito mezclas de paredes celulares de microorganismos que aportan peptidoglicanos debido a que son similares en propiedades a los diferentes aditivos industriales que actualmente se utilizan para mejorar propiedades del cemento (Pei , Liu, & Wang, 2015).

En este trabajo se estudia la posibilidad de usar levaduras, que constituyen desechos de otras industrias, para cambiar las propiedades de la pasta de cemento y que mejore su trabajabilidad en la construcción como para usarlo como un hormigón autocompactante.

Justificación

En los últimos años, se ha realizado un desarrollo significativo en la tecnología del concreto para cumplir con los requisitos de alto rendimiento. Los aditivos modificadores de la viscosidad (VMA) se han usado como mezcla alternativa para obtener la trabajabilidad requerida, la trabajabilidad del hormigón se define, según el American Concrete Institute (ACI), como la facilidad de colocación del hormigón. Sin embargo, estos aditivos no solo aumentaron los impactos ambientales de la producción de concreto, sino que también aumentaron el costo unitario del mismo (Khayat, 1998; Pei , Liu, & Wang, 2015).

Siguiendo estas inquietudes, se ha propuesto el uso de aditivos de base biológica en la producción de hormigón. En revisión bibliográfica se encontró que los polisacáridos de base biológica son altamente efectivos como VMA (Lachemi, Hossain, Lambros, Nkinamubanzi, & Bouzoubaâ, 2004) (Pei , Liu, & Wang, 2015). Las moléculas de cadena larga de estos polisacáridos se adhieren a las moléculas de agua, disminuye su movimiento relativo y forman un gel, por lo que aumenta el límite elástico y la viscosidad plástica. Este comportamiento reduce el sangrado y la segregación, lo que resulta en concreto robusto altamente trabajable (Azima & Basaran, 2019).

El interés en este estudio fue motivado por la demanda de un VMA menos costoso y más sostenible para mejorar las propiedades reológicas de la pasta de cemento. Con este fin, se propone usar tanto la pared celular de levadura y el organismo en sí, como VMA para materiales a base de cemento. Por otra parte, no hay reportes en el Ecuador de uso de levaduras con este fin.

Objetivos

Objetivo general

Modificar las propiedades mecánicas del cemento utilizando como aditivo derivados ricos en polisacáridos de levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Objetivos específicos

- Formular diferentes mezclas de levadura con cemento

- Realizar pruebas reológicas y de resistencia
- Evaluar la influencia de la levadura sobre las propiedades reológicas

Hipótesis

Los componentes de levadura pueden funcionar como un modificador de las propiedades reológicas y de resistencia para materiales a base de cemento.

Capítulo II

Revisión bibliográfica

Levadura

Levadura es un nombre genérico que reúne a una gran cantidad de organismos unicelulares, teniendo especies patógenas que afectan a plantas y animales y así también especies no patógenas que sirven de mucha utilidad, las levaduras son organismos eucariotas con una gran diversidad respecto a su tamaño, forma y color (Suárez, Garrido, Norge, & Guevara, 2016). Se les considera hongos unicelulares y generalmente tiene forma ovalada, aunque se pueden encontrar también en forma esférica, cilíndrica o elíptica (Carrillo & Audisio, 2007). Tienen un mayor tamaño que las bacterias, llegando a un diámetro máximo de entre cuatro y cinco μm . Su reproducción es por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales (Ochoa & Vazquez, 2004).

La composición macromolecular de las levaduras contiene proteínas, glicoproteínas, polisacáridos, polifosfatos, lípidos y ácidos nucleicos. Así su pared celular ocupa entre 15 y 25 % de la masa seca de la célula y sus principales componentes son polisacáridos con 80 a 90% principalmente glucanos y mananos, y en menor cantidad quitina, incluyendo también proteínas y lípidos (Aguilar, Solis, & Francios, 2005). Siendo las proteínas el 40 a 50% de su peso (Suárez, Garrido, Norge, & Guevara, 2016).

Saccharomyces cerevisiae, es una levadura heterótrofa, es decir adquiere energía a partir de la glucosa y tiene una alta capacidad fermentativa, es de fácil aislamiento en plantas, tierra e inclusive en el tracto gastrointestinal y genital humano (Suárez, Garrido, Norge, & Guevara, 2016).

Propiedades de la pared celular de levadura

La primera etapa de la unión de iones metálicos en las células de los microorganismos no depende de su metabolismo y consiste en la quimisorción de iones en los componentes de la pared celular. Por lo tanto, la eficiencia de biosorción de metales pesados por biomasa microbiana está relacionada principalmente con la estructura de la pared celular del microorganismo y, en consecuencia, con las propiedades de la superficie celular en la que la

estructura determina la naturaleza de interacción entre el microorganismo y el catión metálico (Shamin, 2018).

Las paredes de las células de levadura están cargadas negativamente y la capacidad de las células de levadura para unirse a cationes de metales pesados probablemente se deba a interacciones electrostáticas (Shamin, 2018). Entre los diversos compuestos reactivos asociados con las paredes celulares, las sustancias poliméricas extracelulares como el exopolisacárido (EPS) son bien conocidas por tener un efecto considerable sobre las propiedades ácido-base y una gran capacidad para formar complejos con metales pesados. La estructura y distribución de homopolisacáridos (mananos y glucanos), sacáridos simples y componentes ácidos, que son buenos agentes aglutinantes, también dictan la capacidad de biosorción de la pared celular (Bahafid, Tahri, Asri, Tirry, & Ghahtouli, 2017).

Mecanismos de biosorción

La interacción del metal con la pared celular de la levadura implica un mecanismo complejo que incluye varios procesos como el intercambio iónico, la complejación, la adsorción y la precipitación. Muchas evidencias han demostrado que existe un mecanismo de intercambio iónico en el sistema de biosorción (Massoud, Rasoul, Hamzehlou, & Khosravi, 2018).

Sin embargo, muchos investigadores sugirieron que el intercambio iónico no es ni el único ni el principal mecanismo para la biosorción de metales. El intercambio de iones es el reemplazo de un ión en una fase sólida en contacto con una solución por otro ión. Más específicamente, es la sustitución de un ión absorbido y fácilmente intercambiable por otro. Se observó una liberación rápida del 70% del K^+ celular, seguida de una liberación más lenta de aproximadamente el 60% del Mg^{2+} celular, pero poca pérdida de Ca^{2+} , en la eliminación de Cu^{2+} por *S. cerevisiae*, que indica la existencia de un mecanismo de intercambio iónico (Moreno & Ramos, 2018).

Aditivos biológicos

Los aditivos biológicos son moléculas funcionales que se usan en productos de construcción para optimizar las propiedades del material. Incluyen biopolímeros naturales o modificados, productos biotecnológicos y biodegradables. Los morteros de concreto y de mezcla en seco (por ejemplo, yesos para paredes o adhesivos para losetas) representan dos aplicaciones principales para bio-aditivos. Ejemplos de bioproductos utilizados en concreto

son lignosulfonato, gluconato de sodio, extracto de raíz de pino, hidrolizados de proteínas y goma de Welan; y en mortero de mezcla seca metil hidroxipropil celulosa, hidroxipropil almidón, goma guar, ácido tartárico, caseína, succinoglicano y goma xantana (Plank, 2004).

Aditivos modificadores de viscosidad VMA

Los aditivos modificadores de la viscosidad (VMA) son polímeros solubles en agua que aumentan la viscosidad del agua de mezcla y mejoran la capacidad de la pasta de cemento para retener sus componentes en suspensión. Los VMA se utilizan para mejorar la estabilidad del hormigón autocompactante (SCC) (Sari, Prat, & Labastire, 1999). SCC se define como un concreto que tiene una excelente deformabilidad y alta resistencia a la segregación y puede rellenarse en secciones fuertemente reforzadas sin aplicar vibración. SCC se desarrolló en Japón a fines de la década de 1980, y recientemente, este concreto ha ganado un amplio uso en muchos países para diferentes aplicaciones y configuraciones estructurales (Lachemi, Hossain, Lambros, Nkinamubanzi, & Bouzoubaâ, 2004). El VMA de uso común en materiales a base de cemento incluye polisacáridos de fuentes microbianas o de almidón, derivados de celulosa y polímeros a base de acrílico (Kawai, 1987).

La mezcla que contiene VMA exhibe un comportamiento de adelgazamiento por corte, por lo que la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte. Dicha mezcla (pasta, mortero u hormigón) es típicamente tixotrópica, donde la acumulación de viscosidad se acelera debido a la asociación y el enredo de las cadenas de polímero del VMA a una velocidad de cizallamiento baja que puede inhibir aún más el flujo y aumentar la viscosidad. El uso de la goma Welan, un tipo de polisacárido natural como VMA, ha demostrado ser muy efectivo para mejorar las propiedades reológicas de la lechada y el SCC (Lachemi, Hossain, Lambros, Nkinamubanzi, & Bouzoubaâ, 2004).

Goma de Polisacáridos (PSG)

En sus principios el término de goma se refería a los productos de la exudación de plantas y árboles; aunque en la actualidad su uso es de un grupo muy amplio de polisacáridos con alto peso molecular, que actúan como espesantes y gelificantes, y que tienen algunas propiedades funcionales, como emulsificación, estabilización, crioprotección, etc. (Badui, 2006).

Las gomas de polisacárido son polímeros de cadena larga con un alto peso molecular (aproximadamente dos millones), que corresponde a aproximadamente dos mil unidades

repetidas por molécula de polímero (Ghio, Monteiro, & Demsetz, 1994). Tienen carácter hidrófilo, por lo que absorben o retienen agua, lo que produce un aumento en la viscosidad, inmovilizan el agua y confieren estructura característica (Karababa & Coskuner, 2013).

El término goma se aplica a una gran variedad de sustancias con características gomosas. Sin embargo, se utiliza el término goma para referirse a polisacáridos o sus derivados, generados de plantas o por proceso microbiológico que, al mezclarse en el agua fría o caliente, se obtienen soluciones o mezclas viscosas (Whistler & Daniel, 1985).

Polisacáridos en la pasta de cemento

Las gomas de polisacárido (PSG) se usan como agentes anti-sangrado para el retensado de lechadas y para mejorar la resistencia de la unión entre el concreto y el acero, como aditivos anti-lavado para reparaciones de concreto bajo el agua, y como bomba y aditivos de resistencia al pandeo para hormigón compactado. Las soluciones de PSG muestran alta pseudoplasticidad, que se caracteriza por una disminución de la viscosidad aparente para aumentar los esfuerzos de corte (Ghio, Monteiro, & Demsetz, 1994).

A bajas velocidades de corte, el enlace de hidrógeno y el enredo del polímero aumentan la viscosidad de la solución; por lo tanto, el sangrado, la resistencia al lavado y la resistencia al pandeo mejoran cuando se agregan PSG a la lechada. Para aumentar las velocidades de corte, el polímero de cadena larga tiende a alinearse con la dirección del flujo y, por lo tanto, se observa una reducción en la viscosidad. A medida que se detiene el cizallamiento, las cadenas de los polímeros se vuelven a agregar rápidamente y vuelven a la viscosidad original. Aunque se usan concentraciones muy pequeñas de gomas de polisacárido para pastas de cemento y hormigones, las gomas pueden modificar significativamente su reología (Ghio, Monteiro, & Demsetz, 1994).

Generalidades del cemento

Desde que el ser humano pasó al sedentarismo, fue necesario delimitar sus espacios destinados para la vivienda, para ello la evolución de la construcción de espacios que le permitan cubrirse de las condiciones naturales, y posteriormente de edificaciones con propósitos específicos se hace indispensable en la historia (Hewlett, 2004).

Bajo este contexto no es hasta 1824 que Joseph Aspdin, presenta la primera composición de minerales conocido como cemento portland, recibe su nombre por el color

característico del mismo muy parecido al de las tocas en la bahía de Inglaterra con el mismo nombre.

Posteriormente Isaac Johnson industrializó y permitió tener la trazabilidad del proceso de obtención del cemento Portland y es desde ese momento hasta la actualidad que este material, es el material de construcción predilecto para la mayoría de aplicaciones (ASOCRETO, 2018).

Definición

Se define como “Cementante” a toda sustancia con cualidades adhesivas que permite unir fragmentos o materiales. También se puede entender como cemento, a todo material en forma de partículas pequeñas (polvo) que, al mezclarse con una sustancia líquida, comúnmente agua, o una solución con base en este elemento, desarrolla reacciones químicas que culminan con la solidificación de la masa resultante (ASTM-C219-14, 2014).

Hormigón autocompactante

El hormigón autocompactante (HPC) es una mezcla compleja que a menudo contiene 5 ± 10 materiales diferentes. La interacción entre los diversos materiales puede provocar amplias variaciones en la trabajabilidad, que también depende de los materiales específicos y las proporciones utilizadas (Ferraris, Obla, & Hill, 2011).

Curado y secado del cemento

El curado del concreto se define como el suministro de humedad, temperatura y tiempo adecuados para permitir que el concreto alcance las propiedades deseadas para su uso como son resistencia y la durabilidad, esto significa que se debe mantener una humedad relativa en el hormigón superior al 80 por ciento, una temperatura superior a los 50 grados Fahrenheit y durante un tiempo de entre tres y 14 días, según la aplicación específica. Cuando estas recomendaciones se especifican y ejecutan adecuadamente en el campo, se lograrán las propiedades finales de la mezcla de concreto (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2002).

El curado en el cemento es importante en el desarrollo de la resistencia y la durabilidad del hormigón. El curado tiene lugar inmediatamente después de la colocación y el acabado, e implica el mantenimiento de las condiciones de humedad y temperatura deseadas, tanto en profundidad como cerca de la superficie, durante períodos prolongados. El concreto

debidamente curado tiene una cantidad adecuada de humedad para la hidratación continua y el desarrollo de fuerza, estabilidad de volumen, resistencia a la congelación y descongelación, y resistencia a la abrasión y las incrustaciones, también es importante para el proceso de hidratación, fraguado y endurecimiento que la temperatura de la mezcla supere los 5°C (Umiri, 2019).

Reología

En la industria uno de los materiales más utilizados por sus características autocompactantes y la resistencia mecánica que puede alcanzar es el hormigón SCC o autocompactante. Lo que hace a este hormigón especial es su alta fluidez, que no es segregante y es capaz de adaptarse por sí solo a encofrados y secciones estrechas, profundas sin necesidad de la utilización de elementos mecánicos externos (Cyr, Legrand , & Mouret, 2000).

Estas propiedades se conocen gracias a la reología, que se define como el estudio del flujo y la deformación de la materia, en interrelación con la fuerza aplicada, deformación obtenida y el tiempo empleado en los diferentes procesos. Esta palabra se deriva de los vocablos griegos 'rheo' traducido como 'flujo' y 'logos' estudio.

Por lo tanto, la reología trata tanto de la deformación de materiales sólidos como del flujo de materiales similares en un estado pseudo líquido. Esta ciencia en especial, se centra en el estudio del comportamiento de materiales viscoelásticos complejos que presentan propiedades de sólidos y de líquidos en respuesta a la fuerza, la deformación y el tiempo (Rojas, Briceño, & Avedaño, 2012).

Así la reometría se refiere a la técnica experimental utilizada para determinar las propiedades reológicas de los materiales y para esto hay una gran cantidad de pruebas reométricas que se puede hacer en un reómetro y así determinar las propiedades de flujo y viscoelásticas de un material.

Viscosidad

La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a deformarse cuando se encuentra bajo esfuerzo cortante. Por lo tanto, también se conoce como viscosidad de cizallamiento. Es causada por las fuerzas de atracción entre moléculas en estrecho contacto y la fricción entre cadenas moleculares. Se requiere mayor energía para deformar un líquido muy

viscoso, mientras que se necesita menor energía cuando se deforma un fluido menos viscoso (Wong & Wong, 2015).

Hay dos tipos básicos de flujo, estos son el flujo cortante y el flujo extensional. En el flujo cortante, los componentes del fluido se cortan entre sí mientras que en el flujo extensional el componente de fluido fluye hacia fuera o hacia el otro. El comportamiento de flujo más común y el que se mide más fácilmente en un reómetro o viscosímetro rotacional es el flujo de corte (Wong & Wong, 2015).

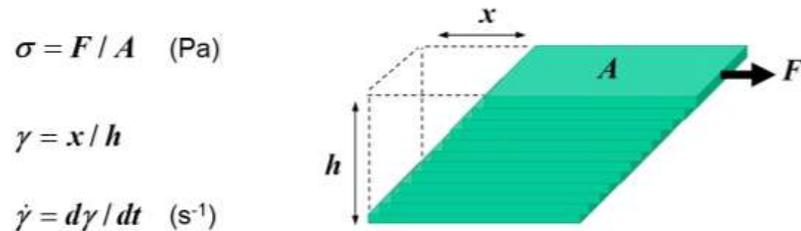
Esfuerzo de corte

El esfuerzo de cizallamiento o corte se puede representar como capas de fluido que se deslizan una sobre otra y cada capa se mueve más rápido que la que está debajo. La capa superior tiene velocidad máxima mientras que la capa inferior está estacionaria. Para que tenga lugar el flujo de cizallamiento, debe actuar una fuerza de cizallamiento sobre el fluido. Esta fuerza externa toma la forma de un esfuerzo cortante (σ) que se define como la fuerza (F) que actúa sobre una unidad de área (A) como se muestra en la Figura 1. En respuesta a esta fuerza, la capa superior se moverá una distancia x dada, mientras que la capa inferior permanece estacionaria. Por tanto, tenemos un gradiente de desplazamiento a lo largo de la muestra (x / h) denominado deformación cortante (γ). Para un sólido que se comporta como un solo bloque de material, la deformación será finita para una tensión aplicada; no es posible el flujo (Malvern, 2019).

Sin embargo, para un fluido donde los componentes constituyentes pueden moverse entre sí, la deformación por cizallamiento continuará aumentando durante el período de esfuerzo aplicado. Esto crea un gradiente de velocidad denominado tasa de corte o tasa de deformación ($\dot{\gamma}$) que es la tasa de cambio de deformación con el tiempo ($\frac{d\gamma}{dt}$) (Malvern, 2019).

Figura 1

Cuantificación de la velocidad de corte y el esfuerzo de corte para capas de fluido que se deslizan una sobre otra



Nota Tomado de A basic introduction to reology (p. 2), por Malvern, 2019

Cuando aplicamos un esfuerzo cortante a un fluido estamos transfiriendo momento, de hecho, el esfuerzo cortante es equivalente al flujo de momento o la tasa de transferencia de momento a la capa superior del fluido. Ese impulso se transfiere a través de las capas de fluido mediante colisiones e interacciones con otros componentes del fluido dando una reducción.

En la velocidad del fluido y la energía cinética. El coeficiente de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad cortante se define como la viscosidad cortante o viscosidad dinámica (η), que es una medida cuantitativa de la fricción interna del fluido y está asociada con la amortiguación o pérdida de energía cinética en el sistema (Malvern, 2019).

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Pa} \cdot \text{s}) \quad (1)$$

Los fluidos newtonianos son fluidos en los que el esfuerzo cortante está relacionado linealmente con la velocidad de corte $\dot{\gamma}$, por lo tanto, la viscosidad es invariable con la velocidad de corte o el esfuerzo cortante.

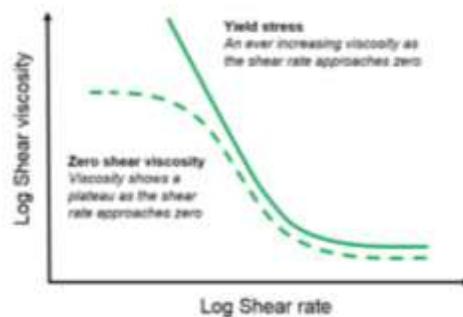
Shear thinning

El tipo más común de comportamiento no newtoniano es el shear thinning o flujo pseudoplástico, en el que la viscosidad del fluido disminuye al aumentar la velocidad.

A velocidades de cizallamiento suficientemente bajas, los fluidos adelgazantes por cizallamiento mostrarán un valor de viscosidad constante, η_0 , denominado viscosidad de cizallamiento cero o meseta de viscosidad de cizallamiento cero. A una velocidad de cizallamiento crítica o esfuerzo de cizallamiento, se observa una gran caída de viscosidad, lo que significa el comienzo de la región de shear thinning (Malvern, 2019).

Figura 2

Curvas de flujo típicas para fluidos shear thinning con una viscosidad de cizallamiento cero y un aparente límite de fluencia



Nota Tomado de A basic introduction to reology (p. 4), por Malvern, 2019

Shear thinning es el resultado de reordenamientos micro estructurales que ocurren en el plano de cizallamiento aplicado y se observa comúnmente para dispersiones, incluidas emulsiones y suspensiones, así como soluciones y fundidos poliméricos.

A bajas tasas de cizallamiento, los materiales tienden a mantener un orden irregular con una alta viscosidad de cizallamiento cero resultantes de las interacciones partícula/ molécula y los efectos restauradores del movimiento browniano. En el caso de materiales de límite elástico, tales interacciones dan como resultado la formación de redes o el atasco de elementos dispersos que deben romperse o desatascarse para que el material fluya (Freys, Verhoeven, & Schutter, 2008).

A velocidades de cizallamiento o tensiones lo suficientemente altas como para superar estos efectos, las partículas pueden reorganizarse o reorganizarse en capas similares a cuerdas, los polímeros pueden estirarse y alinearse con el flujo, las estructuras agregadas pueden romperse y las gotas deformar su forma esférica. Una consecuencia de estos reordenamientos

es una disminución en la interacción molécula/partícula y un aumento en el espacio libre entre los componentes dispersos, que contribuyen a la gran caída de la viscosidad (Freys, Verhoeven, & Schutter, 2008).

Shear thickening

Si bien la mayoría de las suspensiones y los materiales con estructura de polímero se adelgazan por cizallamiento (shear thinning), algunos materiales también pueden mostrar un comportamiento shear thickening en el que la viscosidad aumenta al aumentar la velocidad de cizallamiento o el esfuerzo cortante. Este fenómeno se denomina a menudo dilatación y, aunque se refiere a un mecanismo específico de engrosamiento por cizallamiento asociado con un aumento de volumen, los términos a menudo se usan indistintamente. El engrosamiento por cizallamiento también puede ocurrir en polímeros, en particular polímeros anfífilicos, que a altas velocidades de cizallamiento pueden abrirse y estirarse, exponiendo partes de la cadena capaces de formar asociaciones intermoleculares transitorias (Malvern, 2019).

Límite de fluencia

Se puede considerar que muchos fluidos de dilución por cizallamiento poseen propiedades tanto líquidas como sólidas. En reposo, estos fluidos pueden formar redes intermoleculares o entre partículas como resultado de entrelazamientos de polímeros, asociación de partículas o alguna otra interacción. La presencia de una estructura de red confiere al material características predominantemente sólidas asociadas con la elasticidad, cuya resistencia está directamente relacionada con las fuerzas intermoleculares o entre partículas (fuerza de unión) que mantienen unida a la red, que está asociada con el límite elástico (Malvern, 2019).

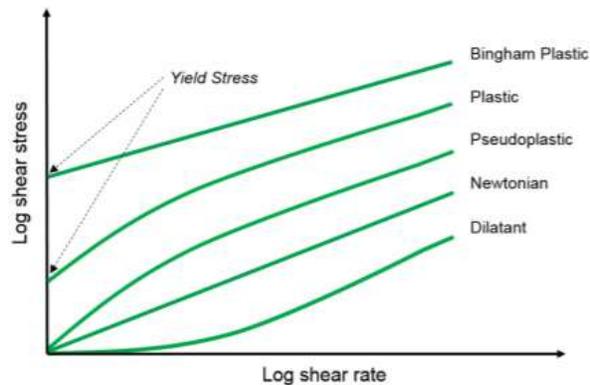
Si se aplica una tensión externa menor que la tensión de fluencia, el material se deformará elásticamente. Sin embargo, cuando la tensión externa excede el esfuerzo de fluencia, la estructura de la red colapsará y el material comenzará a fluir como si fuera un líquido (Rojas, Briceño, & Avedaño, 2012).

Mientras que un líquido vítreo y un sistema de polímero enredado se comportarán como un sólido cuando se deforman rápidamente, en tiempos de deformación más largos estos materiales muestran propiedades de un líquido y, por lo tanto, no poseen un límite de fluencia real. Por esta razón, el término "esfuerzo de fluencia aparente" se utiliza ampliamente. La Figura

2 muestra un gráfico de esfuerzo cortante contra velocidad de corte para varios tipos de fluidos (Malvern, 2019).

Figura 3

Gráficos de esfuerzo cortante / velocidad de corte que representan varios tipos de comportamiento de flujo



Nota Tomado de A basic introduction to reology (p. 8), por Malvern, 2019

Los materiales que se comportan como fluidos en reposo tendrán curvas que se encuentran en el origen, ya que cualquier esfuerzo aplicado inducirá una velocidad de corte. Para los fluidos de límite de fluencia, las curvas interceptarán el eje del esfuerzo en un valor distinto de cero, lo que indica que solo se puede inducir una velocidad de corte cuando se ha excedido el límite el límite de fluencia (Malvern, 2019).

Hay una serie de pruebas experimentales para determinar el límite de fluencia, incluida la prueba de fluencia múltiple, la prueba de barrido de amplitud de oscilación y también la prueba de corte constante; esto último generalmente con la aplicación de modelos apropiados como los modelos Bingham, Casson y Herschel-Bulkley (Rojas, Briceño, & Avedaño, 2012).

$$\text{Bingham} \quad \sigma = \sigma_Y + \eta_B \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\text{Herschel Bulkley} \quad \sigma = \sigma_Y + K \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Donde σ_Y es el esfuerzo de fluencia y η_B la viscosidad de Binghamo viscosidad plástica, representada por la pendiente del esfuerzo de cizallamiento versus la velocidad de cizalla en la región newtoniana, post fluencia. El modelo de Herschel-Bulkley es simplemente un modelo de ley de potencia con un término de esfuerzo de fluencia y, por lo tanto, representa el

rendimiento posterior al adelgazamiento por corte, con K la consistencia $\dot{\gamma}$ el índice de la ley de potencia.

Un plástico de Bingham es uno que tiene un límite fluencia, pero muestra un comportamiento newtoniano después de ceder. Este comportamiento idealizado rara vez se ve y la mayoría de los materiales con un esfuerzo de fluencia aparente muestran un comportamiento no newtoniano después de la fluencia que se generaliza como comportamiento plástico (Rojas, Briceño, & Avedaño, 2012). El modelo de Bingham se basa en que para poner en movimiento la masa de hormigón fresco, proporcionando al fluido una velocidad ($\dot{\gamma}$) es necesario vencer la resistencia τ_0 debida al rozamiento entre las partículas. Una vez que el movimiento se ha iniciado, la cohesión entre las partículas hace que sea necesario seguir aumentando la fuerza aplicada al fluido para que el movimiento no se detenga (Sanchez, Gonzalez, Prieto, & Garcia, 2019).

El hormigón es un fluido no newtoniano cuyas propiedades reológicas están representadas por el modelo de Bingham. Cuando nos relacionamos con el material de hormigón, la constante está relacionada con la velocidad de corte a la que se mide el hormigón y el historial de corte del mismo (Anred, 2020).

Capítulo III

Materiales y método

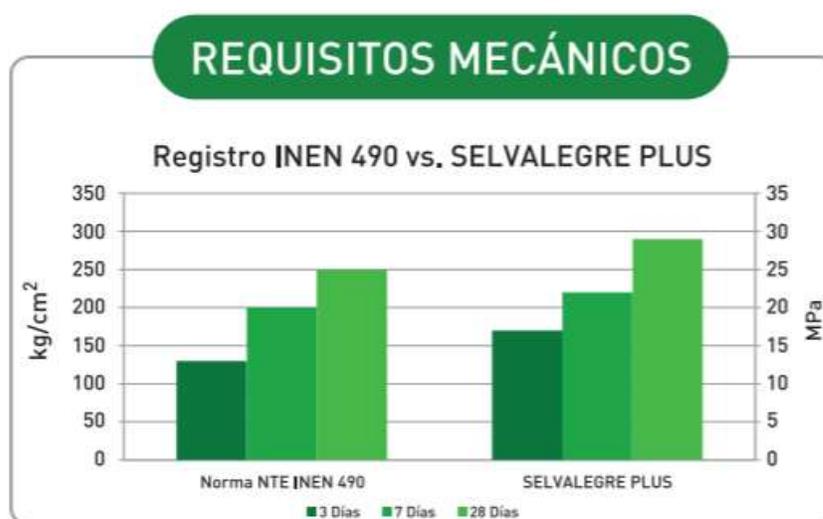
Cemento

Se usó el cemento comercial selvalegre, que es un cemento portland puzolánico tipo IP, diseñado para hormigones de todo tipo de construcción y cumple con la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595.

Permite alcanzar las resistencias a la compresión entre 35 y 50 MPa, también posee un progresivo crecimiento de la resistencia después de los 28 días de edad y puede alcanzar hasta 20% más de resistencia a los 90 días (UNACEM, 2021) .

Figura 4

Resistencia a la compresión norma INEC 490 VC cemento



Nota Tomado de ficha técnica cemento selvalegre (p. 1), por UNACEM, 2021

Levadura

Sacharomyces cerevisiae se obtuvo a partir de cultivos realizados a partir de otros trabajos de tesis realizados en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Se utilizaron levadura en tres diferentes formas para llevar a cabo los diferentes ensayos: 1-prensada, 2-seca por atomización y seca por liofilizada. Para obtener la liofilizada se colocó levadura seca en un mortero con nitrógeno líquido y se la macero para producir ruptura,

posteriormente se le liofilizo por 28 horas. La levadura secada por atomización se obtuvo en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato donde cuentan con un secador por atomización de laboratorio tipo GPY25 con atomización por boquilla a presión temperatura del Aire de Entrada de 120-700°C

Agua

Según I.S 456: 2000, el agua utilizada para mezclar y curar debe estar limpia y libre de cantidades dañinas de aceites, ácidos, sales y materiales orgánicos o cualquier otra sustancia que pueda dañar el concreto y el acero además el valor de pH del agua utilizada para mezclar el hormigón debe ser inferior a 6, por lo que se utilizó agua destilada para los ensayos.

Aditivo superplastificante Sika visocrete 4100

Es un aditivo reductor de agua e hiperplastificante de larga trabajabilidad y control de fraguado, Sika Viscocrete 4100 está formulado para mantener la trabajabilidad por más de una hora, manteniendo los tiempos de fraguado normales, debido a que cuando se le añade un componente a la mezcla de cemento este disminuye su homogeneidad y es necesario que la mezcla se mantenga estable para los ensayos.

Tabla 1

Datos técnicos de sika visocrete 4100

Datos Técnicos	
Densidad (g/cm³)	1.1 aprox.
Consistencia	Líquido
Color	Traslúcido
Dosificación	Del 0.19 % al 0.9%

Figura 5

Aditivo superplastificante sika viscocrete 4100

**Reómetro híbrido Discovery 2**

Se utilizó para el estudio de cemento fresco el reómetro híbrido Discovery 2 (DHR 2, Discovery Hybrid Rheometer 2), de la marca TA Instruments, ubicado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", este equipo tiene una variedad de aplicaciones y es muy avanzado en tecnología para investigación y desarrollo de materiales.

Figura 6

Reómetro Discovery HR-2



Geometrías

Hay varios tipos de geometrías que se usa en el reómetro, pero cada uno tiene su uso específico para líquidos no newtonianos como el cemento se usa el cilindro concéntrico y rotor de vane estos sirven para medir las curvas de flujo en la naturaleza del fluido que estamos estudiando.

El rotor de vane de cuatro vanos y se introdujo en un cilindro concéntrico con un diámetro interno de 40 mm donde se colocó la mezcla de cemento.

Figura 7

Cilindro concéntrico y rotor vane

**Máquina de ensayos universales**

Para medir la resistencia se ocupó la máquina de ensayos universales del laboratorio de materiales de mecánica de la universidad de las Fuerzas armadas ESPE, para esto se colocó los cubos en el centro y se aplicó una fuerza para posteriormente calcular la resistencia.

Figura 8

Máquina de ensayo universal para compresión



Ensayo de resistencia a la compresión

Para este ensayo se seguirá el protocolo de la norma NTE INEN 488:2009 Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros en Cubos de 50 mm de arista, esta norma establece el método de ensayo que se debe aplicar para realizar la compresión, usando cubos de 50 mm de arista.

Primero se calcularon los componentes a usar (cemento, levadura, aditivo y agua) para el volumen de un cubo de 50mm, una vez obtenidas las cantidades calculadas de cemento para una relación de 0,40 W/C, se le añade una solución líquida de agua destilada, levadura y aditivo sika viscocrete 4100 y se mezcla completamente por 10 minutos a una velocidad media de la batidora industrial hasta obtener una composición homogénea. Las cantidades de levadura y tipo de levadura probada se detalla en la Tabla 2,3 después del mezclado se coloca en los moldes, como indica la norma INEN 488:2009 se debe cubrir las caras interiores del molde cubico y la base con una capa fina de un agente desmoldante como es el aceite y colocar la pasta de cemento, posteriormente se dejó pasar 24 horas de secado se desmolda los cubos.

Tabla 2*Materiales usados en los experimentos*

Nº	Material		Concentración
1	Cemento	SELVALEGRE	W/C 0,40
2	Agua	Destilada	
3	Levadura	Prensada y seca	1%
			5%
			10%
			20%
			en peso de cemento
4	Superplastificante	Syca viscocrete 4100	0,25%
			0,50%
			0,75%
			1%
			en peso de cemento

Tabla 3*Combinación de componentes para las mezclas de cemento*

Muestra	Aditivo %	Levadura %	Relación W/C	Tiempo mezcla (min)
Muestra 1	1	-	0,40	4
Muestra 2	0,25	-	0,40	10
Muestra 3	1	0,1	0,40	4
Muestra 4	1	0,1	0,40	4
Muestra 5	0,75	0,1	0,40	4
Muestra 6	0,25	0,1	0,40	4
Muestra 7	1	0,5	0,40	4

Muestra 8	0,75	0,5	0,40	4
Muestra 9	0,25	0,5	0,40	4
Muestra 10	1	1	0,40	4
Muestra 11	0,75	1	0,40	4
Muestra 12	0,25	1	0,40	4
Muestra 13	1	0,1	0,40	10
Muestra 14	0,75	0,1	0,40	10
Muestra 15	0,25	0,1	0,40	10
Muestra 16	1	0,5	0,40	10
Muestra 17	0,75	0,5	0,40	10
Muestra 18	0,25	0,5	0,40	10
Muestra 19	1	1	0,40	10
Muestra 20	0,75	1	0,40	10
Muestra 21	0,25	1	0,40	10
Muestra 22	1	1	0,40	10
Muestra 23	0,75	1	0,40	10
Muestra 24	0,25	1	0,40	10
Muestra 25	0,25	1	0,40	10
Muestra 26	0,25	5	0,40	10
Control 0,25% sika	0,25	-	0,40	10
Control 0,50% sika	0,50	-	0,40	10
LH 1%, 0,25% sika	0,25	1	0,40	10
LH 5%, 0,25% sika	0,25	5	0,40	10
LH 10%, 0,25% sika	0,25	10	0,40	10
LH 20%, 0,25% sika	0,25	20	0,40	10
LH 1%, 0,50% sika	0,50	1	0,40	10
LH 5%, 0,50% sika	0,50	5	0,40	10
LH 10%, 0,50% sika	0,50	10	0,40	10
LH 20%, 0,50% sika	0,50	20	0,40	10
LS 1%, 0,25 sika	0,25	1	0,40	10
LS 1%, 0,25 sika	0,25	5	0,40	10

LS 1%, 0,25 sika	0,25	1	0,40	10
LS 1%, 0,25 sika	0,25	5	0,40	10
LH 20% sin sika	-	20	0,40	10

Para determinar la resistencia a compresión, los cubos de cemento se removieron a las 24 horas de haber sido moldeados y se los colocó en agua para posteriormente realizar las pruebas de compresión a edad del cubo de 21 días con 3 repeticiones cada tratamiento, los ensayos de compresión se realizaron en el equipo de ensayos universal. Se obtuvieron los datos de fuerza y se calculó la resistencia usando la siguiente ecuación:

$$R = F/A \quad (4)$$

Donde F es la carga máxima aplicada en Kg, A es el área de la sección transversal en mm^2 y R es la resistencia a la compresión del cubo en N/mm^2 .

Figura 9

Moldes de 50mm para prueba de compresión



En los experimentos se utilizaron mezcla de los materiales de la tabla 2, realizando combinaciones como se muestra en la tabla 3, realizando 3 lecturas para cada combinación de mezcla, posteriormente se realizó la prueba de resistencia a la compresión, obteniendo la fuerza y usando el área de cada cubo se procedió a calcular la resistencia tabla 4.

Tabla 4

Ejemplo de cálculo para ensayo de resistencia

Días	lado 1 (mm)	lado 2 (mm)	Area	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)
	50,54	50,30	2524,162	6900,00	273,36
21	50,12	50,24	2518,03	6880,00	273,22
	50,75	50,28	2551,71	7000,00	274,33

Lado 1: 50,12 mm**Lado 2:** 50,24 mm

$$\text{Área Efectiva} = \text{lado 1} \times \text{lado 2} \quad (5)$$

$$\text{Área Efectiva} = 50,12 \text{ mm} \times 50,24 \text{ mm}$$

$$\text{Área Efectiva} = 2518,03 \text{ mm}^2$$

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área Efectiva}} \times 10^2 \quad (6)$$

$$\text{Esfuerzo} = \frac{68880 \text{ kg}}{2518,03 \text{ mm}^2} \times \frac{(10\text{mm})^2}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo} = 273,22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo 1: 273,36 kg/cm²**Esfuerzo 1:** 273,22 kg/cm²**Esfuerzo 1:** 274,33 kg/cm²

$$\text{Esfuerzo prom.} = \frac{\text{Esfuerzo 1} + \text{Esfuerzo 2} + \text{Esfuerzo 3}}{3} \quad (7)$$

$$\text{Esfuerzo prom.} = \frac{(273,36 + 273,22 + 274,33) \text{ kg}}{3 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo prom.} = 273,63 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Pruebas reológicas

Se prepararon muestras de pasta de cemento con relación agua/cemento (W/C) de 0,40 (relación en peso) usando polvo de cemento selvagre, aditivo sika viscocrete 4100 a

concentraciones de 0,25% y 0,50% en peso de cemento y levadura prensada o seca a concentraciones: 1%, 5%, 10% y 20% en peso de cemento.

Primero se calcularon los componentes a usar (cemento, levadura, aditivo y agua) para el cilindro concéntrico del reómetro y se pesaron, una vez pesados se mezcla la levadura con el agua y se homogeniza posteriormente se añade el aditivo sika viscocrete y finalmente esta mezcla líquida se coloca en el cemento y se mezcla por 10 minutos a una velocidad media de la batidora industrial. Este procedimiento de mezcla se realiza en todas las muestras en ese orden.

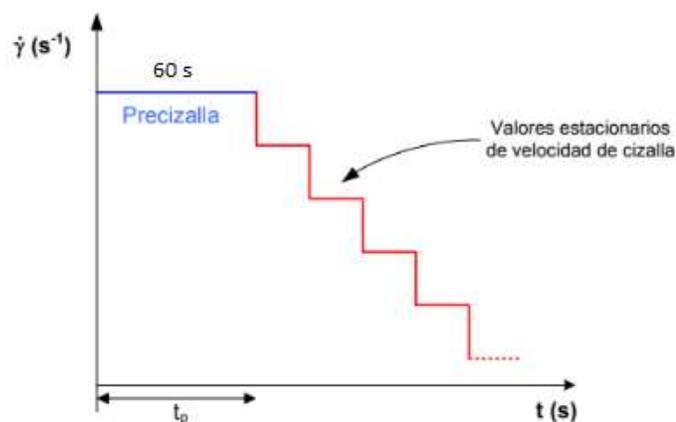
Parámetros del Reómetro

Para usar el reómetro primero se seleccionó las geometrías: cilindro concéntrico y husillo de vano, después se calibró el equipo, las geometrías y la distancia entre la base del cilindro concéntrico y la base inferior del rotor de vane (gap) de 1000 micras.

Se trabajó a una temperatura ambiente constante de 25°C y se esperó llegue a la temperatura programada para que inicie el equipo, luego el reómetro aplica a la muestra de pasta de cemento una precizalla que ayuda a eliminar los efectos aleatorios que pueden existir debido al proceso de preparación, para este proceso se aplica una velocidad de 150 s^{-1} durante 60s, posteriormente el equipo procede a medir la respuesta del material en un rango de velocidades comprendido entre 1 y 150 s^{-1} y de manera decreciente como se tiene en la Figura 10.

Figura 10

Precizalla y valores estacionarios de la velocidad de cizalla



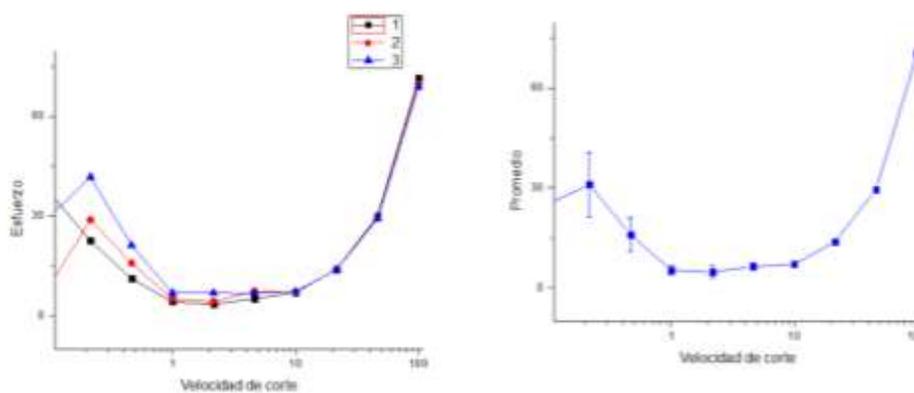
Para que no se vea afectada la medida por efectos transitorios se espera hasta que el ensayo se encuentre estable, una vez que se alcanza el valor estacionario pasa a la siguiente velocidad y así sucesivamente. El tiempo que se estableció para llegar al estado estacionario fue entre 20 y 30 s y se programó en 40 s.

Para cada muestra se realizó tres veces cada procedimiento esto nos ayuda a calcular una Curva de flujo estacionario (CFE) promedio y determinar su desviación.

En la figura 11 se muestra un ejemplo de la obtención de la curva promedio, se puede ver que la desviación disminuye a medida que la velocidad de corte aumenta esto nos indica que la mezcla es inestable a bajas velocidades, pero recupera la estabilidad cuando va aumentando la velocidad de corte.

Figura 11

CFE de los 3 ensayos aplicados a una muestra (izquierda), CFE promedio con su desviación (derecha)



Capítulo IV

Análisis y discusión de los resultados

Evaluación de las características físicas

Se realizaron mezclas como se muestra en la tabla 3 (muestra de la 1 a la 26), para ver que concentraciones son factibles usar en los ensayos de compresión y se evaluó las características físicas, de fraguado y homogenización de la mezcla.

La cubos de las muestra 1, 3, 4, 7, 10, 13, 16,19 que contenían 1% de aditivo superplastificante sika visocrete con combinaciones de 0%, 0,1%, 0,5% y 1% de levadura prensad presentaron la formación de una capa espesa en la parte superior del molde de cemento, por esta razón se trabajó un control sin levadura para ver si la capa era debido a alguna interacción del sika visocrete con la levadura, llegando a la conclusión que el cubo molde también presento esta capa (Figura 12), por lo cual según Flatt y Schobbe (2012), es debido a un exceso de aditivo en la mezcla por lo que realizaron variaciones en la cantidad de Sika visocrete. Referente al tiempo de mezclado que se probó entre 4 y 10 minutos no presento una diferencia en la homogeneidad al momento de realizar la mezcla, sin embargo, se escogió 10 minutos para obtener una completa homogenización de la mezcla. Mientras que el fraguado fue de 48 horas para retirar del molde.

Figura 11

Cubo con 1% de visocrete presenta una capa gruesa en la parte superior



Se procedió a bajar la concentración de sika viscoconcreto a 0,75% y 0,25% variando las concentraciones de levadura prensada a 0%, 0,1%, 0,5% y 1%, obteniendo una capa menos gruesa en la parte superior del molde con sika viscoconcreto al 0,75%, mientras que con una concentración de aditivo de 0,25% se obtuvieron cubos sin una capa perceptible en la parte superior como se indica en la figura 13.

Figura 12

Cubos con 0,25% de viscoconcreto



Posteriormente se realizaron cortes transversales en los cubos con combinaciones de 0,25% de viscoconcreto para ver si no existían porosidades, se logró observar que no hay presencia de poros por lo que es factible realizar los ensayos de compresión, debido a que cuando cemento seco presenta poros en su interior la resistencia la durabilidad se ven afectadas directamente se ven afectada (Solis & Moreno , 2006; Zhao, Xia, Huang, & Zhang, 2014).

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión con mezclas que contenían sika viscoconcreto 1% y 0,25%, con levadura prensada, seca y liofilizada, obteniendo los siguientes resultados a los 7, 14 y 21 días, debido a la situación de la pandemia no se pudieron realizar todos los ensayos de compresión en los días indicados, por lo que se presenta en la tabla 5 los datos obtenidos.

Tabla 5

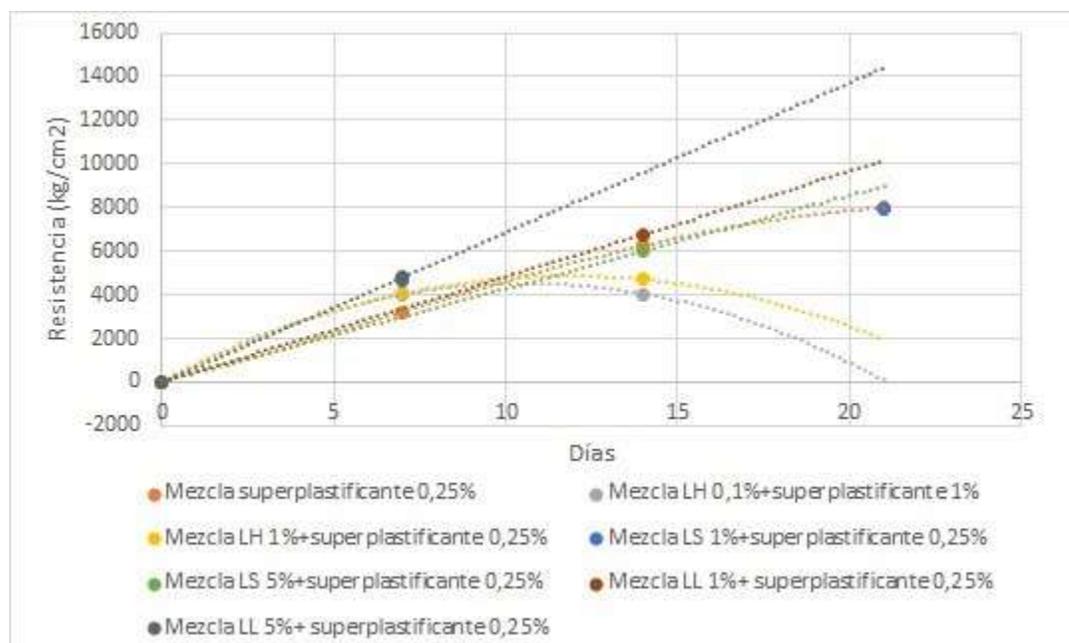
Resistencias del ensayo de compresión a los 7, 14 y 21 días

Muestra	Resistencia (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	21 días
Mezcla superplastificante 0,25%	3217,92	6263,22	7996,63
Mezcla LH 0,1%+superplastificante 1%	4021,83	4050,41	
Mezcla LH 1%+superplastificante 0,25%	4053,97	4705,67	
Mezcla LS 1%+superplastificante 0,25%	4659,48		7886,09
Mezcla LS 5%+superplastificante 0,25%		5994,92	
Mezcla LL 1%+ superplastificante 0,25%		6767,06	
Mezcla LL 5%+ superplastificante 0,25%	4803,82		

Se puede observar en la figura 14 y la tabla 5, que la resistencia aumenta con los días de curado, obteniendo una mayor resistencia de 6767,06 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ con la levadura liofilizada al 1% y viscoconcreto 0,25% a los 14 días a diferencia de su control que es inferior con 4302 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$, no se puede obtener mayores resultados debido a la falta de datos.

Figura 13

Resistencia de diferentes mezclas a 7, 14 y 21 días



Después se realizaron ensayos escogiendo concentraciones de viscoconcreto que fueron de 0,25% y 0,50% debido a que con 0,25% no presento formación de una capa superior, y que con 0,75% presento una capa de menor tamaño por lo que se trabajó a menor concentración con 0,50%, con combinaciones de levadura prensada y seca a las concentraciones al 1%, 5%, 10% y 20%, ya no se trabajó con levadura liofilizada debido a que no se contaba con los laboratorios de biotecnología para realizar la liofilización, adicionalmente debido al tiempo transcurrido el cemento que se usó en los primeros ensayos fue el cemento MAGNO HE que es un cemento hidráulico de alta resistencia, pero debido al largo tiempo de almacenamiento por la cuarentena el cemento se deterioró por la humedad, por lo que se usó el cemento selvalegre, no se adquirió el mismo cemento porque solo lo distribuyen al por mayor y no se encontraban muestras de la empresa disponibles.

A continuación, se realizó las mezclas de cemento en los cubos de 50mm y se procedió a dejar secando una vez secado se desencofro y se los sumergió en agua para el curado, se muestra el tiempo de curado de cada cubo en la tabla 6, se los retiro a los 21 días y se midió la resistencia a la compresión, obteniendo los datos de la tabla 7.

Tabla 6*Tiempo de fraguado, antes de retirar del molde*

Ensayo	Tiempo de fraguado (días)
control 0,25	1
control 0,50	1
levadura seca 1%, 0,25 adt	1
levadura seca 5%, 0,25 adt	1
levadura seca 1%, 0,50 adt	1
levadura seca 5%, 0,50 adt	1
levadura prensada 1%, 0,25 adt	1
levadura prensada 5%, 0,25 adt	1
levadura prensada 10%, 0,25 adt	8
levadura prensada 20%, 0,25 adt	9
levadura prensada 1%, 0,50 adt	1
levadura prensada 5%, 0,50 adt	1
levadura prensada 10%, 0,50 adt	8
levadura prensada 20%, 0,50 adt	9
levadura 20% y cemento	8

En el fraguado del molde control y los que contenían baja concentración de levadura de 1% y 5% se fraguaron y presentaron ya una consistencia dura a las 24 horas como indica la norma (NTE INEN 488), sin embargo, las muestras que tenían 10% y 20% de levadura tardaron más tiempo en ser retiradas, 8 y 9 días respectivamente, debido a que no se encontraban suficientemente sólidas y presentaban un aspecto blando al tacto, como se muestra en la figura 15.

Figura 14

Cubo de 10% de levadura a los 5 días, presentan una consistencia blanda



Una vez retirados el cubo se realizó la prueba de compresión para obtener la resistencia, obteniendo los datos que se muestran en la tabla 7 y figura 16.

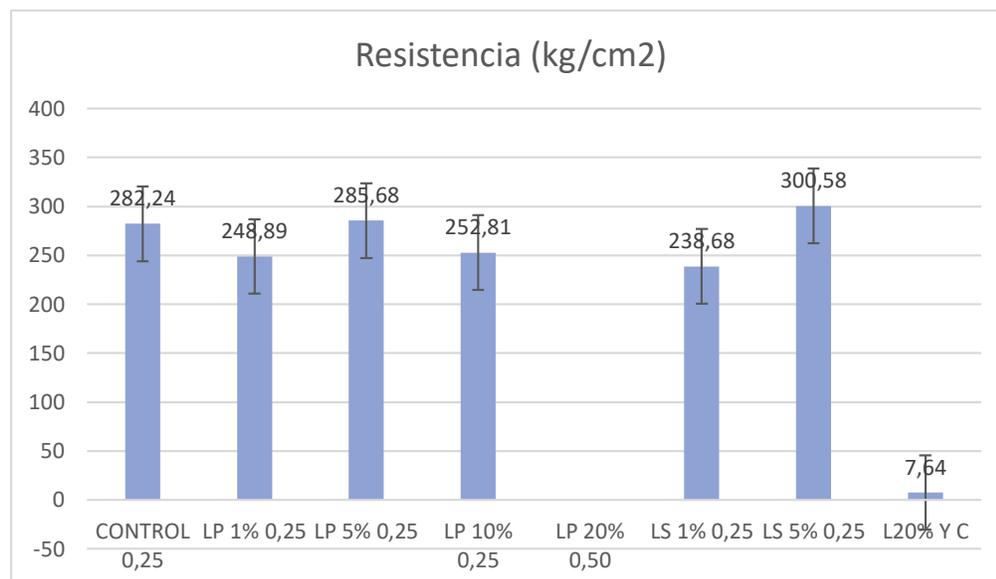
Tabla 7

Resistencia a los 21 días

Muestra	Resistencia (kg/cm ²)
CONTROL 0,25	282,24
CONTROL 0,50	342,45
LH 1% 0,25	248,89
LH 5% 0,25	285,68
LH 1% 0,50	273,23
LS 1% 0,25	238,68
LS 1% 0,50	253,04
LS 5% 0,25	300,58
LS 5% 0,50	240,36
LH 10% 0,25	252,81
LH 5% 0,50	256,55
LH 5% 0,25	265,26
LH 10% 0,50	169,87
L20% Y C	7,64
LH 20% 0,25	-
LH 20% 0,50	-

Figura 15

Resistencia a los 21 días con 0,25 % de viscoconcreto (LP) Levadura prensada, (LS) Levadura seca. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar



En la tabla 7 y la figura 16 se puede observar que el tratamiento LP 5% 0,25 de viscoconcreto, LS 5% 0,25 viscoconcreto tienen resistencia de 285,68 y 300,58 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ tienen mayor resistencia que el control de 282,24 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$, mientras que a baja concentración de levadura prensada y seca al 1% la resistencia disminuye al igual que al 10% de levadura prensada.

También se observa que la levadura prensada al 20% no tiene valor de resistencia debido a que, al colocar los cubos en la prensa para la compresión, estos se rompieron solo con el contacto de los platos de compresión por lo que no se registró fuerza en el equipo, además se realizó la compresión de levadura prensada sin viscoconcreto obteniendo una resistencia muy pequeña de 7,64 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$.

Por lo que se concluye que a concentraciones de 5% tienen una resistencia mayor mientras que a concentraciones menores de 1% y mayores de 10 y 20% pierde resistencia, una posible causa de este comportamiento a altas concentraciones puede ser por la unión de los grupos hidroxilo de la pared celular de la levadura hacia los grupos del agua por lo que a mayor concentración de levadura mayor absorción del agua (Pei, Liu, & Wang, 2015).

Figura 16

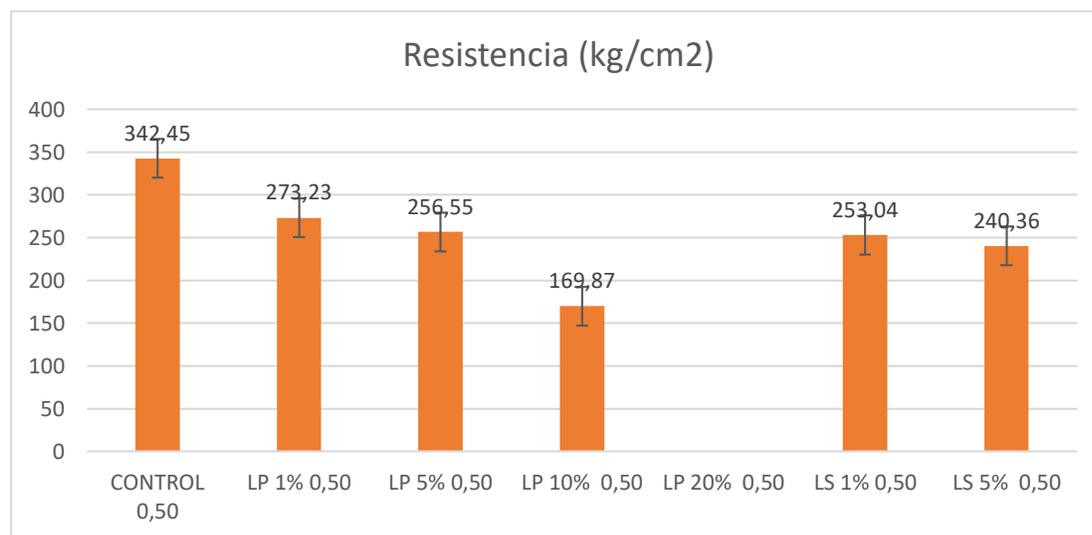
*Interior del cubo con concentración de 10% de levadura,
con formación de poros*



Respecto a la absorción del agua por parte de la levadura también podría ser la causa del tiempo tardado de fraguado y la baja resistencia, también la resistencia se ve afectada por la formación de poros y estos causan menor resistencia y durabilidad del cemento (Solis & Moreno , 2006) (Zhao, Xia, Huang, & Zhang, 2014).

Figura 17

Resistencia a los 21 días con 0,50 % de viscocrete (LP) Levadura prensada, (LS) Levadura seca. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +- una desviación estándar



En la figura 18 se observa que en todos los porcentajes con viscocrete a 0,50%, la resistencia es menor al control, por lo que ningún tratamiento es factible para la construcción.

Pruebas reológicas

El método más comúnmente adoptado para cuantificar las propiedades reológicas de una pasta de cemento es medir, usando un reómetro, el esfuerzo cortante en relación con su velocidad (Figura 19, 20).

Una vez realizado los experimentos y obtenido los datos del reómetro con una mezcla de cemento SELVALEGRE comercial, aditivo superplastificante viscocrete 4100 y levadura seca o prensada a diferentes concentraciones, para determinar de esta manera los porcentajes con mejor afinidad y que proporcionen a la mezcla posee mejor comportamiento y propiedades mecánicas.

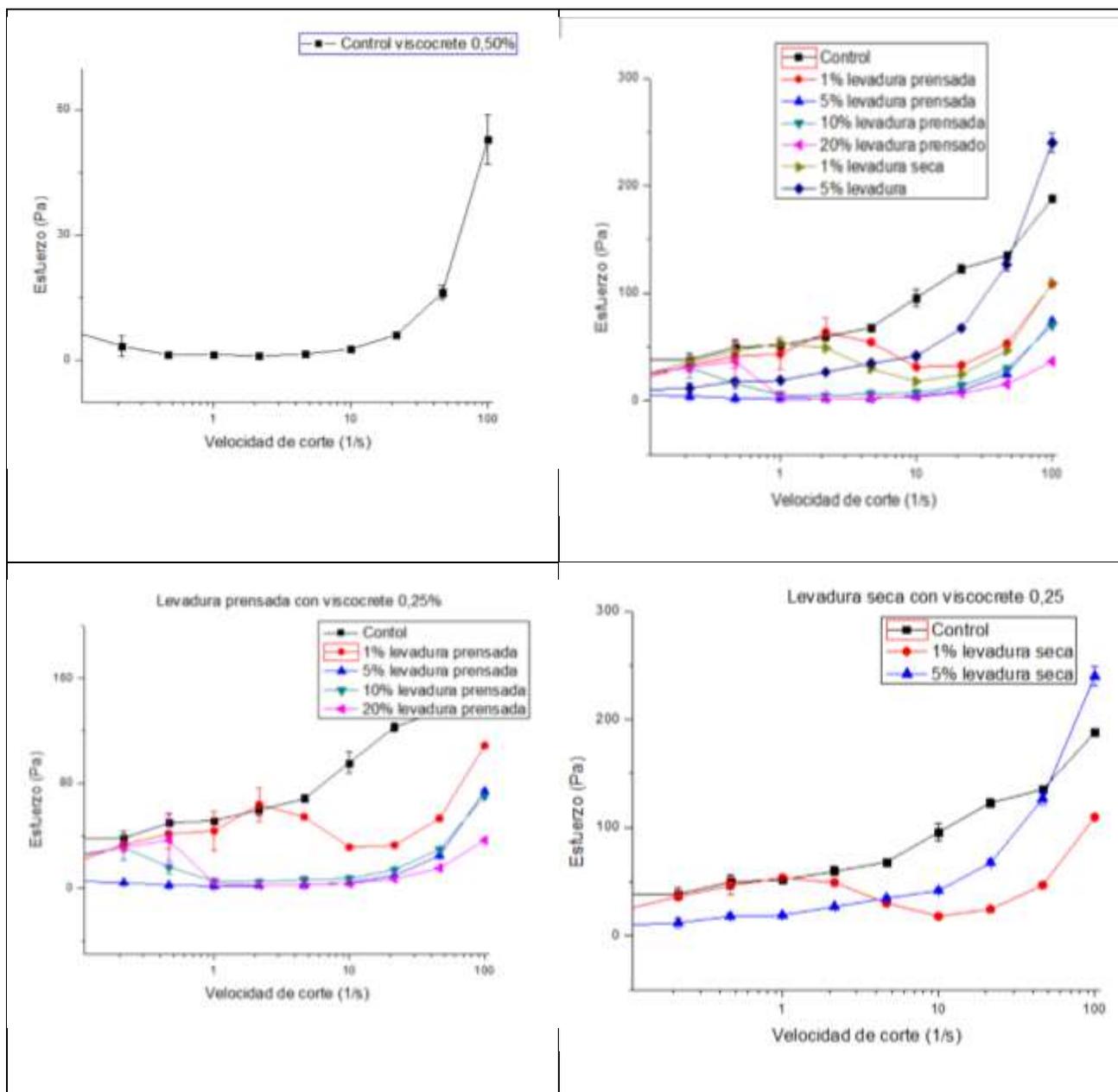
Se realizaron pruebas con 0,25 y 0,50% de sika viscocrete con levadura prensada y levadura seca, las concentraciones que se usaron fueron para la levadura prensada 1%, 5%, 10%

y 20%, mientras que para la levadura seca se usó solo 1% y 5% de levadura debido a que al realizar la mezcla en la batidora al 10 y 20% se hacía difícil que la mezcla se homogenice por lo que no se podía usar el reómetro para esos porcentajes.

Como control de la mezcla se toma viscocrete al 0,25% y se grafica el esfuerzo.

Figura 18

Curvas de flujo estacionario de levadura prensada y seca con viscocrete 0,25%. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes \pm una desviación estándar



En las gráficas se puede observar que a concentraciones de 10 y 20% de levadura prensada y 5% de levadura seca, el límite de fluencia es menor por lo que se necesita un menor esfuerzo lo que supondrá un mayor flujo, sin embargo, la resistencia como se indicó anteriormente es muy baja por lo que no sería útil en la construcción.

Se puede ver las curvas de flujo de 10 y 20% de levadura prensada, en donde el límite de fluencia disminuye, Banfill, (2021) menciona que esto se debe a la rotura de enlaces entre las partículas de cemento por los componentes añadidos. Por lo tanto, el agua atrapada entre los granos puede fluir libremente, lo que aumenta la fluidez y disminuye el límite fluencia.

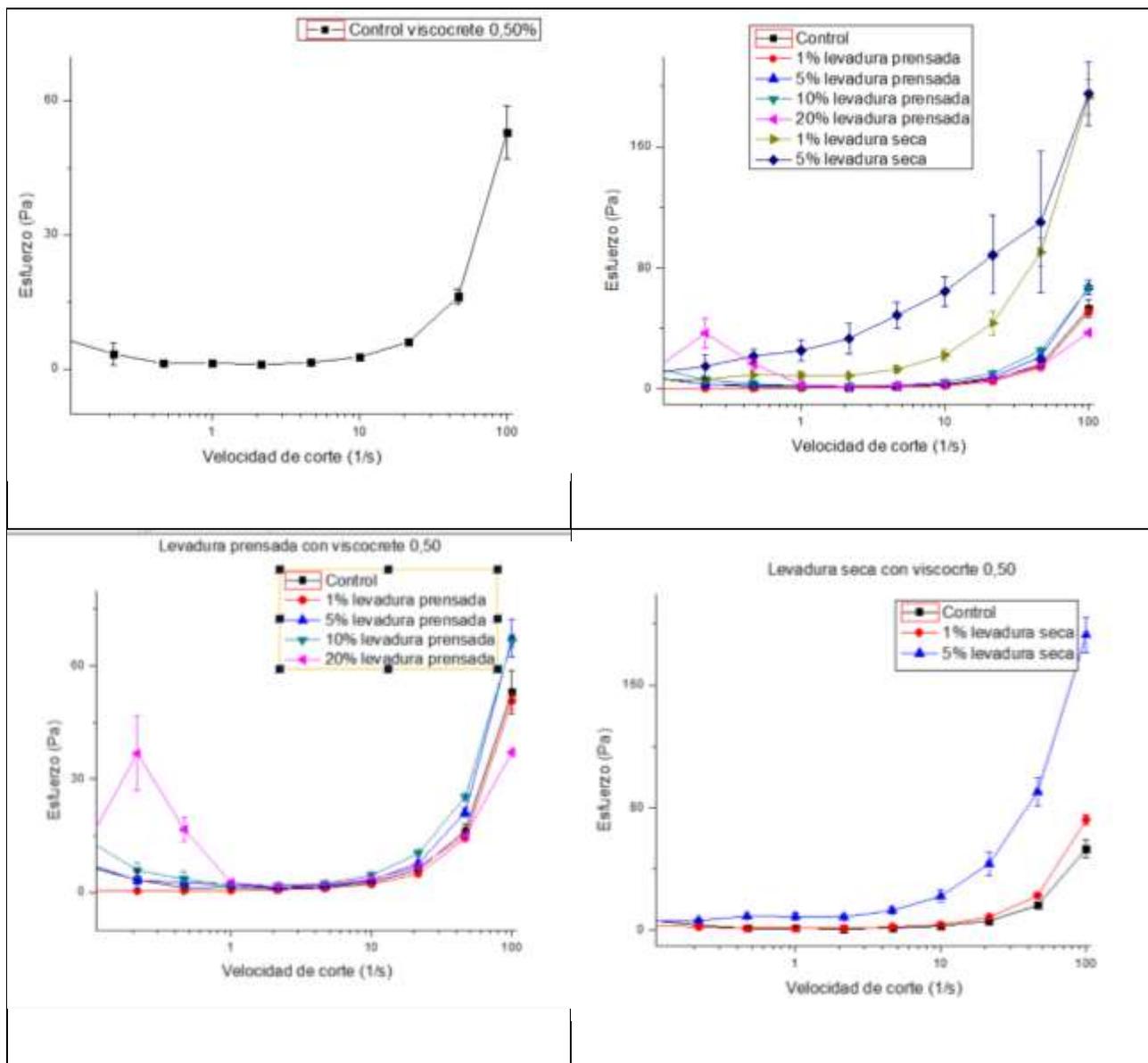
También se evidencia que la muestra con concentración de levadura seca al 1% detallada en rojo, es bastante irregular, y con un valor de esfuerzo menor que la muestra original, de manera que quedaría descartada como una opción de manera inmediata, por no poder ser un modelo con propiedades estables.

En cuanto al comportamiento del resto de mezclas, 5% y 10% son bastante parecidos, rescatando el comportamiento de la línea azul, representante de la mezcla del 10% de concentración de levadura seca, puesto que, a velocidades elevadas de corte, se consigue un esfuerzo mayor que la muestra sin levadura, que supera un esfuerzo de 200[Pa].

Ajustamos estos resultados al modelo lineal Bingham Modifica en la Tabla 7,8, se puede ver que los valores de r^2 son bajos lo que significa que no se ajusta el modelo a los datos.

Figura 19

Curvas de flujo estacionario de levadura prensada y seca con viscocrete 0,50%. Las mediciones corresponden a la media de 3 mediciones independientes +/- una desviación estándar



En la Figura 19 se muestran las diferentes concentraciones y propiedades de las mezclas con diferentes concentraciones de levadura seca y prensada más el aditivo sika al 0,50%, y se contrastan con la muestra de control detallada en color negro de manera que sean evidentes los cambios en las propiedades de la mezcla.

Se evidencia que la muestra con concentración de levadura prensada al 20% detallada en rosado, es algo irregular, y con un valor de esfuerzo menor que la muestra original, de manera que también quedaría descartada como una opción, por otro lado, las curvas de flujo de 1%, 5% y 10% de levadura prensada presentan un comportamiento similar al control, mientras que el 5% de levadura seca tiene un esfuerzo mayor.

Tabla 8

Modelo lineal de Bingham de levadura prensada con 0,25 y 0,50% de viscocrete

Modelo lineal de Bingham					
Levadura prensada					
Viscocrete 0,25%					
	Control	1%	5%	10%	20%
r2	0,922	0,829	0,944	0,983	0,9504
límite de fluencia	55,86	23,73967	0,64392	0,4592	0,26211
viscosidad plástica	1,42544	0,76923	0,46385	0,6306	0,34023
Viscocrete 0,50%					
	Control	1%	5%	10%	20%
r2	0,965	0,839	0,855	0,917	0,986
límite de fluencia	0,3351	0,2329	0,1892	-0,1	0,0716
viscosidad plástica	0,3281	0,2072	0,3429	0,515	0,3259

Tabla 9

Modelo lineal de Bingham de levadura seca con 0,25 y 0,50% de viscocrete

Modelo lineal de Bingham						
Levadura seca						
	viscocrete 0,25%			viscocrete 0,50%		
	Control	1%	5%	Control	1%	5%
r2	0,922	0,705	0,976	0,965	0,8343	0,936
límite de fluencia	55,86	23,085	19,6393	0,3351	0,3412	7,574

viscosidad plástica	1,42544	0,73	2,2646	0,3281	0,4676	1,777
------------------------	---------	------	--------	--------	--------	-------

En el ajuste lineal y modificado, obtenemos un acercamiento mucho más aproximado a los valores de las propiedades, analizando el factor r^2 (coeficiente de determinación), el mismo que determina la calidad de ajuste de los resultados a un modelo aplicado donde 1 corresponde a un ajuste perfecto sin embargo podemos observar que nuestro factor en modelo lineal varía entre 0,70 y 0,98 y en el modificado entre 0,92 y 0,99 teniendo un mejor ajuste en el modelo modificado que en el lineal.

Tabla 10

Modelo modificado de Bingham de levadura prensada con 0,25 y 0,50% de viscocrete

Modelo modificado de Bingham

Levadura prensada					
viscocrete 0,25%					
	Control	1%	5%	10%	20%
r2	0,965	0,923	0,99	0,99	0,96
límite de fluencia	50,0818	38,0297	1,24454	2,0433	1,3549
viscosidad plástica	21,5582	0,01	0,2733	0,5115	0,222
C	-0,01	0,008	0,004	0,001	0,001
Viscocrete 0,50%					
	Control	1%	5%	10%	20%
r2	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99
límite de fluencia	0,36895	0,3028	0,6577	0,6484	0,828
viscosidad plástica	0,2915	0,1504	0,1983	0,3421	0,2504
C	0,003	0,003	0,005	0,003	0,001

Tabla 11

Modelo modificado de Bingham de levadura seca con 0,25 y 0,50% de viscoconcreto

Modelo modificado de Bingham

	Levadura seca					
	viscoconcreto 0,25%			Viscoconcreto 0,50%		
	Control	1%	5%	Control	1%	5%
r ²	0,965	0,877	0,97	0,99	0,979	0,933
límite de fluencia	50,0818	33,063	19,1694	0,36895	0,7636	7,7279
viscosidad plástica	21,5582	-0,3717	2,4081	0,2915	0,206	1,5012
c	-0,01	0,01	-0,002	0,003	0,005	0,00366

En la tabla 10 y 11 se puede ver los valores para viscosidad plástica y límite de fluencia en el cual la viscosidad viene a ser menor para el control, según Banfill, (2021) el aumento de la viscosidad plástica se debe en parte al aumento del contacto entre partículas y al entrelazado de la superficie, pero en el ensayo no existe mucho contacto entre partículas debido a que el tamaño de la levadura es 1 a 9 micras por lo que puede ser la razón por la cual la viscosidad plástica es baja. También, se menciona que el límite elástico del cemento y el hormigón se reduce a valores muy bajos por la dispersión de las partículas de cemento floculadas (Ferraris, Obla, & Hill, 2011).

Capítulo v

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se evaluaron diferentes mezclas de levadura prensada, secada por atomización y liofilia con cemento y viscocrete a concentraciones diferentes, observando que las mezclas con levadura prensada se pueden realizar a concentraciones de 1%, 5%, 10% y 20%, mientras que con levadura seca se pudieron realizar mezclas con 1% y 5% debido a que el 10 y 20% su viscosidad aumenta bastante sin permitir realizar la mezcla o una posible biosorción de la levadura hacia los elementos de la composición del cemento.

Se evidencio que las mezclas de 10 y 20% presentan un mayor tiempo para fraguado esto se debe a que la levadura en mayor concentración atrapa el agua y no permite que se fragüe la mezcla.

La resistencia a la compresión de las mezclas con levadura al 10 y 20% tuvieron valores muy bajos, incluso la del 20% no al ajustar los platillos de la maquina se rompió, por lo que su resistencia es muy baja y no es aplicable a construcción.

La resistencia de las mezclas presento bajas resistencias a valores altos de levadura (10 y 20%) y resistencias mayores para levadura prensada al 5% con 0,25 de viscocrete, sin embargo, para levadura con 0,50 de viscocrete todas presentaron disminución en su resistencia esto se debe a que mayor concentración de aditivo genera poros lo que afecta la resistencia.

En la reología de las muestras se pudo evidenciar que el límite de fluencia para las muestras de 10 y 20% es más bajo que el control, pero debido a los resultados de compresión no es un resultado aplicable a la construcción.

Recomendaciones

Se recomienda realizar más pruebas para corroborar los resultados reológicos y realizar ensayos de compresión y reológicos con levadura liofilizada debido a que presenta un mayor potencial en la resistencia.

Adicionalmente se recomienda realizar ensayos con la pared celular de la levadura para ver cuál es la interacción entre los polisacáridos y el cemento y ver cómo influye en sus propiedades

Bibliografía

- Aguilar, B., Solis, J., & Francios, J. (19 de Mayo de 2005). Influencia de los parámetros cinéticos de la fermentación, en la composición y estructura de los polisacáridos contenidos en la pared celular de la levadura *saccharomyces cerevisiae*.
- Anred. (15 de Junio de 2020). *Rheology of Concrete - Bingham Model Representation*. Recuperado el 2021, de Concrete technology.
- ASOCRETO. (2018). *Una breve historia del Concreto*. Obtenido de 360 EN CONCRETO: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/recorrido-historia-del-cemento>
- ASTM-C219-14. (2014). *Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement*.
- Azima, M., & Basaran, Z. (25 de Agosto de 2019). Bio-Derived Rheology Modifying Agents for Cement-Based Materials. *Rheology and Processing of Construction Materials*, 23, 7986.
- Badui, D. (2006). *Química de los alimentos* (4ª edición ed.). Pearson educación.
- Bahafid, W., Tahri, N., Asri, M., Tirry, N., & Ghahtouli, N. (8 de Noviembre de 2017). east Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals. *Intech open*.
- Banfill, P. (2003). THE RHEOLOGY OF FRESH CEMENT AND CONCRETE. *Cement Chemistry Congress*.
- Camino, S., Bermudez, N., Chalen , A., & Romero, D. (2018). Productividad en la industria ecuatoriana de la construccion.
- Carrillo, L., & Audisio, C. (2007). *MANUAL de MICROBIOLOGÍA de los ALIMENTOS* (1ª edición ed.). Argentina .
- Cyr, M., Legrand , C., & Mouret, M. (2000). Study of the shear thickening effect of superplasticizers on the rheological behaviour of cement pastes containing or not mineral additives. *Cement and Concrete Research*, 1477-1483.
- Ferraris, C., Obla, K., & Hill, R. (Febrero de 2011). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and concrete*, 31, 245.
- Flatt, R., & Schobber, I. (2012). Superplasticizers and the rheology of concrete. *Understanding the Rheology of Concrete*, 144.
- Freys, D., Verhoeven, R., & Schutter, G. (2008). resh self compacting concrete, a shear thickening material. *Cement and Concrete Research*.

- Ghio, V., Monteiro, P., & Demsetz, L. (16 de Abril de 1994). The rheology of fresh cement paste containing polysaccharide gums. *Cement and concrete research*, 24(2), 243-249.
- Hewlett, P. (2004). *La Química del cemento y concreto*.
- Karababa, E., & Coskuner, Y. (Marzo de 2013). Physical properties of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): An industrial gum yielding crop. *Industrial Crops and Products*, 42, 440-446.
- Kawai, T. (1987). Non-dispersible underwater concrete using polymers, Marine Concrete, International Congress on Polymers in Concrete, Brighton. 6.
- Khayat, K. H. (1998). Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials — An overview. *Cement & concrete*, 20.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. (2002). *Diseño y control de mezclas de hormigon* (Quinceava ed.).
- Lachemi, M., Hossain, K., Lambros, V., Nkinamubanzi, p., & Bouzoubaâ, N. (Febrero de 2004). Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 34, 185-193.
- Malvern. (2019). *A basic introduction reology*. Recuperado el 2021, de Malvern Instruments Limited:
<https://cdn.technologynetworks.com/TN/Resources/PDF/WP160620BasicIntroRheology.pdf>
- Massoud, R., Rasoul, M., Hamzehlou, P., & Khosravi, K. (29 de Noviembre de 2018). Bioremediation of heavy metals in food industry: Application of. *Electronic Journal of Biotechnology*, 56-60.
- Moreno, S., & Ramos, G. (2018). Descontaminacion de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *saccharomyces cerevisiae*. *Revista especializada en ciencias químico biológicas*, 51-68.
- Ochoa, J., & Vazquez, R. (2004). Las levaduras marinas como herramientas científicas y biotecnológicas. 39-50.
- Pei, R., Liu, J., & Wang, S. (2015). Use of bacterial cell walls as a viscosity-modifying admixture of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 55, 186-195.
doi:doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.08.007
- Plank, J. (Noviembre de 2004). Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials. *Applied Microbiology and biotechnology*, 66(1), 1-9.

- Rojas, O., Briceño, M. I., & Avedaño, J. (2012). *Fundamentos de Reología*. Merida, Venezuela.
Recuperado el Enero de 2021, de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S521C.pdf>
- Sanchez, J., Gonzalez, M., Prieto, M., & Garcia, G. (2019). Estudio reológico experimental de un hormigón autocompactante. 5(2). Recuperado el 2021
- Sari, M., Prat, E., & Labastire, F. (Junio de 1999). High strength self-compacting concrete: original solutions associating organic and inorganic admixtures. *Cement and Concrete Research Volume 29, Issue 6, June 1999, Pages 813-818, 29(6)*, 813-818.
- Shamin, S. (18 de Julio de 2018). Biosorption of Heavy Metals. *Intech open*.
- Solis, R., & Moreno, E. (Septiembre de 2006). Analisis de porosidad con el concreto agregado calizo. *Scielo*, 21(3).
- Suárez, C., Garrido, C., Norge, A., & Guevara, C. (Enero de 2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA.*, 50(1), 20-28.
- Torrente, E. (Julio de 2019). Aprovechamiento de los subproductos generados en la industria cervecera.
- Umiri, D. (6 de Agosto de 2019). *Cconstruccion*. Obtenido de <https://www.yura.com.pe/blog/curado-del-concreto-primera-parte/>
- UNACEM. (2021). Ficha técnica Selva Alegre.
- Vidaud, E. (Octubre de 2016). *Historia del cemento*. Recuperado el 2021, de *Revistacyt*.
- Vitruvius, P. (2001). De arquitectura.
- Whistler, R., & Daniel, J. (1985). Carbohydrates. *Chemical Changes in Food During Processing*.
- Wong, I., & Wong, D. (2015). Adjuntos especiales al tratamiento. *Retina*, 3, 1735. Recuperado el 2021
- Zhao, H., Xia, Q., Huang, D., & Zhang, S. (2014). Influencia de la estructura de los poros en la resistencia a la compresión del mortero de cemento. *Hindawi*.
doi:<https://doi.org/10.1155/2014/247058>