



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola Politècnica Superior d'Edificació  
de Barcelona

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN AVANZADA EN LA  
EDIFICACIÓN  
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

**DESARROLLO DE UN BLOQUE DE TIERRA ESTABILIZADO CON UN GEL DE  
ORIGEN VEGETAL PRODUCTO DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN  
CONTENIDO EN EL ARROZ**

**Proyectista: Kidzia Sandoval Castro**

**Director: Antonia Navarro Ezquerra**

**Convocatoria: febrero 2022**

A mi madre, por ser mi mayor motivación  
A mi padre, por ser mi mayor inspiración

## Resumen

La construcción se encuentra actualmente dominada por el uso de materiales de alto impacto ambiental, por lo que es considerada una de las industrias más contaminantes. La explotación desmedida de recursos naturales y el uso ineficiente de energía para los procesos de manufactura han provocado graves daños al medio ambiente. Derivado de esto, se vuelve relevante la búsqueda de soluciones para limitar la emisión de gases de efecto invernadero producto de la manufactura de materiales de la construcción (Dove 2014; Venkatarama Reddy y Jagadish 2003).

Se ha demostrado que se puede lograr una reducción considerable en el total de energía embebida en las edificaciones mediante materiales de construcción naturales (Felton, Fuller y Crawford 2014). Sin embargo, su aplicación en construcciones convencionales se encuentra limitada por falta de experiencia en su aplicación, o bien, por evidencia limitada que proporcione datos científicos para cuantificar su desempeño (MacDougall 1996). Por lo anterior expuesto, nace la necesidad de desarrollar ensayos sobre materiales naturales para así obtener evidencia científica que sustente su competitividad ante los materiales convencionales y que al aplicarlos puedan contribuir positivamente a los esfuerzos por generar estrategias de diseño dirigidas a una construcción sustentable.

La presente investigación busca mejorar las propiedades de un bloque de tierra sin cocción mediante la incorporación de un gel de origen vegetal (GOV), producto de la extracción de almidón contenido en el arroz. Este cereal está posicionado como el segundo más producido en el mundo (Wikipedia 2022), es un recurso renovable y abundante el cual dentro de su constitución tiene componentes que lo hacen ideal para emplearlo en materiales de construcción (Pei, Wang, Guo, et al. 2020).

Con base en un estudio previo realizado por Amiel López Dávalos sobre este bloque de tierra adicionado con el GOV, se conoce la caracterización del material, sus propiedades a nivel mecánico y su comportamiento frente al agua (López Dávalos 2018). Por lo que este estudio pretende darle continuación a esta investigación previa, centrándose en determinar su comportamiento físico y mecánico, una vez envejecido. El factor de alteración que se estudiará será el agua, en sus diferentes fases (ciclos de humedad-sequedad, corrosión salina, y hielo-deshielo).

Los resultados obtenidos en los ensayos muestran una notable mejora en los bloques de tierra elaborados con GOV en contra parte con los bloques elaborados con agua. Aunque todas las probetas al ser ensayadas a envejecimiento muestran un deterioro físico, el espectro de resultados de resistencia mecánica indican que las probetas con GOV resisten mejor las alteraciones debido al agua en sus diferentes fases. Se comprueba así, que existe una mejora considerable en las propiedades de la tierra para la elaboración de bloques con la adición de almidón a la estructura de esta. Para poder potenciar el GOV como estabilizador, habrá que buscar una metodología que permita resolver eficientemente la extracción del almidón del arroz.

## Índice

1	Introducción .....	6
2	Materiales naturales en la construcción.....	7
3	Construcción con tierra .....	8
3.1	Mampostería de bloques de tierra.....	11
3.2	Técnicas de estabilización .....	12
3.2.1	Materiales orgánicos y biopolímeros como estabilizadores.....	14
4	Almidón.....	14
4.1	Almidón como aditivo para bloques de tierra sin cocción .....	15
5	Campaña experimental .....	16
5.1	Objetivos de la campaña .....	16
5.2	Estructura para el desarrollo de la campaña.....	16
5.2.1	Ensayos previos .....	16
5.2.2	Caracterización del material.....	16
5.2.3	Ensayos a realizar .....	16
5.3	Procedimiento del desarrollo de la campaña experimental .....	17
6	Ensayos previos.....	18
6.1	Caracterización del material.....	18
6.1.1	Tierra.....	18
6.1.2	Gel de origen vegetal (GOV).....	18
6.1.3	Determinación de consistencia (por mesa de sacudidas) .....	20
6.2	Seguimiento visual.....	20
6.3	Preparación de las probetas .....	23
7	Ensayos realizados .....	24
7.1	Estado fresco.....	24
7.2	Estado endurecido.....	24
7.2.1	Módulo de Young dinámico (MOE) .....	24
7.2.2	Ensayo a compresión y flexión .....	25
7.2.3	Porosidad y densidades.....	25
7.3	Envejecimiento .....	25
7.3.1	Ensayo de humedad/secado.....	25
7.3.2	Ensayo de corrosión salina.....	26
7.3.3	Ensayo de hielo-deshielo.....	27
7.3.4	Control de envejecimiento .....	28
7.4	Comportamiento frente al agua.....	28
7.4.1	Ensayo de absorción de agua por capilaridad .....	28
7.4.2	Ensayo de permeabilidad al vapor de agua .....	28

7.4.3	Erosión acelerada Swinburne (SAET).....	29
8	Resultados de los ensayos e interpretaciones .....	30
8.1	Estado endurecido.....	30
8.1.1	Módulo de Young dinámico MOE .....	30
8.1.2	Ensayo de compresión y flexión .....	30
8.1.3	Porosidad y densidades .....	32
8.2	Envejecimiento .....	33
8.2.1	Ensayo de humedad/secado .....	33
8.2.2	Ensayo de corrosión salina.....	35
8.2.3	Ensayo de hielo/deshielo.....	36
8.2.4	Control de envejecimiento .....	37
8.3	Comportamiento frente al agua.....	42
8.3.1	Ensayo de absorción de agua por capilaridad .....	42
8.3.2	Ensayo de permeabilidad al vapor de agua .....	43
8.3.3	Erosión acelerada Swinburne (SAET).....	45
9	Conclusiones .....	46
10	Bibliografía .....	47
	Agradecimientos .....	49
	Anexos .....	50

## Índice de imágenes

<b>Imagen 1.</b>	Emisiones globales de CO <sub>2</sub> en el año 2000 y la contribución de la producción de cemento. Fuente: REHAN, R. y NEHDI, M., 2012. Carbon dioxide emissions and climate change : policy implications for the cement industry. , vol. 8, no. 2005, pp. 105-114. DOI 10.1016/j.envsci.2004.12.006 .....	6
<b>Imagen 2.</b>	Diagrama de flujo de emisiones de gases de efecto invernadero mundiales. Fuente: <a href="http://pdf.wri.org/world_greenhouse_gas_emissions_flowchart.pdf">http://pdf.wri.org/world_greenhouse_gas_emissions_flowchart.pdf</a> .....	7
<b>Imagen 3.</b>	Construcciones de tierra a nivel global. Fuente: CRAterre.....	8
<b>Imagen 4.</b>	Casa Ajijic por Tatiana Bilbao. Fuente: Dezeen .....	9
<b>Imagen 5.</b>	Centro Cultural del Desierto Nk'Mip / DIALOG. Fuente: Plataforma de arquitectura.....	10
<b>Imagen 6.</b>	Rueda de las técnicas. Fuente: CRAterre.....	11
<b>Imagen 7.</b>	Diagrama esquemático representando la gelatinización del arroz pegajoso y la modificación de la tierra. Fuente: PEI, Q.Q., WANG, X.D., GUO, Q.L., ZHAO, L.Y., ZHANG, B. y LI, Z.P., 2020. Action Mechanism of Sticky Rice-Paste-Modified Site Soil: A Tradit.....	15
<b>Imagen 8.</b>	Determinación de densidad en laboratorio. Fuente: Elaboración propia. ....	19
<b>Imagen 9.</b>	Mesa de sacudidas. Fuente: Elaboración propia .....	20
<b>Imagen 10.</b>	Probetas en producción. Fuente: Elaboración propia.....	23
<b>Imagen 11.</b>	Probetas secas. Fuente: Elaboración propia .....	23
<b>Imagen 12.</b>	Equipo de ultrasonidos para ensayo de Módulo de Young dinámico. Fuente: Elaboración propia.....	24
<b>Imagen 13.</b>	Preparación para ensayo de flexión y compresión en prensa Wykeham Farrance. Fuente: Elaboración propia.....	25
<b>Imagen 14.</b>	Ensayo de humectación/secado. Fuente: Elaboración propia.....	26
<b>Imagen 15.</b>	Esquema de caras de apoyo de la probeta. Fuente: Elaboración propia. ....	26

<b>Imagen 16.</b> Ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.....	27
<b>Imagen 17.</b> Ensayo de permeabilidad al vapor de agua. Fuente: Elaboración propia.....	28
<b>Imagen 18.</b> Esquema de ensayo informativo. Fuente: UNE 41410: 2008.....	29
<b>Imagen 19.</b> Instrumental para ensayo de erosión acelerada Swinburne. Fuente: Elaboración propia.....	29
<b>Imagen 20.</b> Probetas expuestas a 12 ciclos de humedad/secado. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Imagen 21.</b> Probetas expuestas a 12 ciclos de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.....	35
<b>Imagen 22.</b> Probetas expuestas a 12 ciclos de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.....	36
<b>Imagen 23.</b> Antes y después de ensayo de erosión acelerada Swinburne en muestra A 2:1 y muestra A 3:1. Fuente: Elaboración propia.....	45
<b>Imagen 24.</b> Antes y después de ensayo de erosión acelerada Swinburne en muestra AA 3:1 y muestra AA 2:1. Fuente: Elaboración propia.....	45

### Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Módulo de Young dinámico. Fuente: Elaboración propia.....	30
<b>Gráfico 2.</b> Resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.....	31
<b>Gráfico 3.</b> Resultados de ensayo de resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.....	31
<b>Gráfico 4.</b> Resistencia a compresión y Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.....	32
<b>Gráfico 5.</b> Porosidad y Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.....	33
<b>Gráfico 6.</b> Porosidad y resistencia a compresión. Fuente: Elaboración propia.....	33
<b>Gráfico 7.</b> Variación de peso antes y después de cada ciclo de humedad/secado por muestra. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Gráfico 8.</b> Variación de peso antes y después de cada ciclo de corrosión salina por muestra. Fuente: Elaboración propia.....	35
<b>Gráfico 9.</b> Variación de peso antes y después de cada ciclo de hielo/deshielo por muestra. Fuente: Elaboración propia.....	36
<b>Gráfico 10.</b> Efecto de ensayos en Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.....	37
<b>Gráfico 11.</b> Efecto de ensayo de humedad/secado (EHS) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.....	38
<b>Gráfico 12.</b> Efecto de ensayo de corrosión salina (ECS) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.....	39
<b>Gráfico 13.</b> Efecto de hielo deshielo (EHD) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.....	40
<b>Gráfico 14.</b> MOE después de envejecimiento. Fuente: Elaboración propia.....	41
<b>Gráfico 15.</b> Resistencia a compresión y flexión después de envejecimiento. Fuente: Elaboración propia.....	42
<b>Gráfico 16.</b> Incremento de masa por unidad de superficie, respecto al tiempo. Fuente: Elaboración propia.....	43
<b>Gráfico 17.</b> Comparativo del factor de resistencia al vapor de agua entre muestras. Fuente: Elaboración propia.....	44
<b>Gráfico 18.</b> Comportamiento frente al agua. Fuente: Elaboración propia.....	44

### Índice de tablas

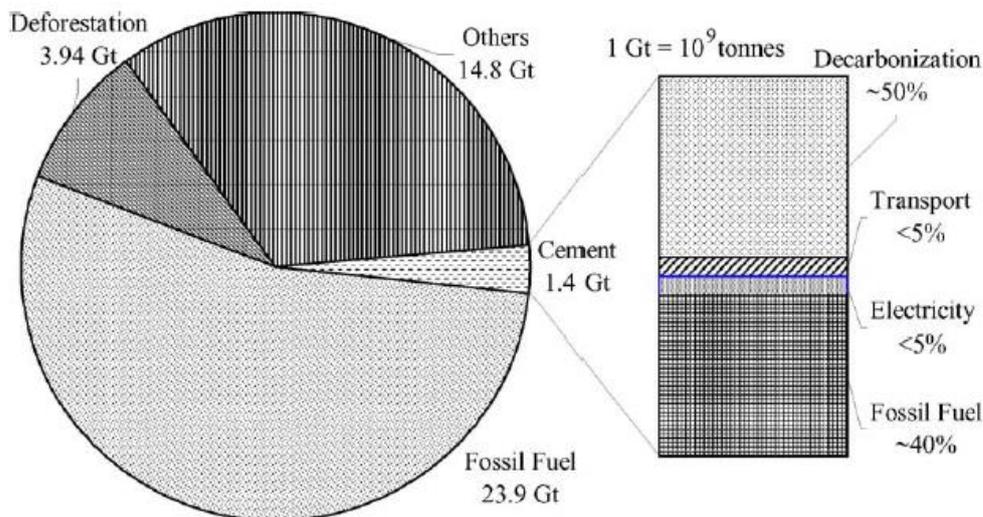
<b>Tabla 1.</b> Utilización de aditivos a través del tiempo en el territorio europeo. Fuente: LÓPEZ DÁVALOS, A., 2018. DESARROLLO DE UN NUEVO BLOQUE DE TIERRA MEJORADO CON LA INCORPORACIÓN DE GEL DE ORIGEN VEGETAL.....	13
<b>Tabla 2.</b> Muestras realizadas. Fuente: Elaboración propia.....	17
<b>Tabla 3.</b> Probetas por ensayo a realizar. Fuente: Elaboración propia.....	17

<b>Tabla 4.</b> Granulometría de arcilla LILA. Fuente: CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2019. Estudio experimental de geopolímeros de arcillas (Experimental study of clay geopolymers). .....	18
<b>Tabla 5.</b> Límite líquido y límite plástico de arcilla LILA. Fuente: CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2019. Estudio experimental de geopolímeros de arcillas (Experimental study of clay geopolymers).....	18
<b>Tabla 6.</b> Densidad de GOV. Fuente: Elaboración propia. ....	19
<b>Tabla 7.</b> Consistencias de GOV por mesa de sacudidas. Fuente: Elaboración propia.....	20
<b>Tabla 8.</b> Composición de las muestras para ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET). Fuente: Elaboración propia. ....	29
<b>Tabla 9.</b> Resultados del Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.....	30
<b>Tabla 10.</b> Resistencias a compresión y flexión. Fuente: Elaboración propia.....	31
<b>Tabla 11.</b> Porosidades y densidades. Fuente: Elaboración propia.....	32
<b>Tabla 12.</b> Variación final de masa por muestra después de ensayo de humedad/secado. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Tabla 13.</b> Variación final de masa después de ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.....	35
<b>Tabla 14.</b> Variación final de masa después de ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.....	37
<b>Tabla 15.</b> Simbología. Fuente: Elaboración propia .....	40
<b>Tabla 16.</b> Resultados de ensayo de absorción por capilaridad. Fuente: Elaboración propia.....	42
<b>Tabla 17.</b> Resultados de las medias del factor de resistencia al vapor de agua por muestra. Fuente: Elaboración propia.....	43
<b>Tabla 18.</b> Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo. Fuente: Elaboración propia .....	45
<b>Tabla 19.</b> Oquedad en probetas ensayadas. Fuente: Elaboración propia.....	45
<b>Tabla 20.</b> Semáforo de resultados. Fuente: Elaboración propia. ....	46

## 1 Introducción

Se ha observado un creciente interés por los tipos de materiales que se utilizan en la construcción a raíz de las problemáticas ambientales derivadas de esta industria. La construcción es responsable de al menos 30% de las emisiones de dióxido de carbono y lidera la lista de consumidores de materia prima a nivel global sobre otras actividades económicas, lo cual denota claramente su insostenibilidad (Pacheco-Torgal y Jalali 2012).

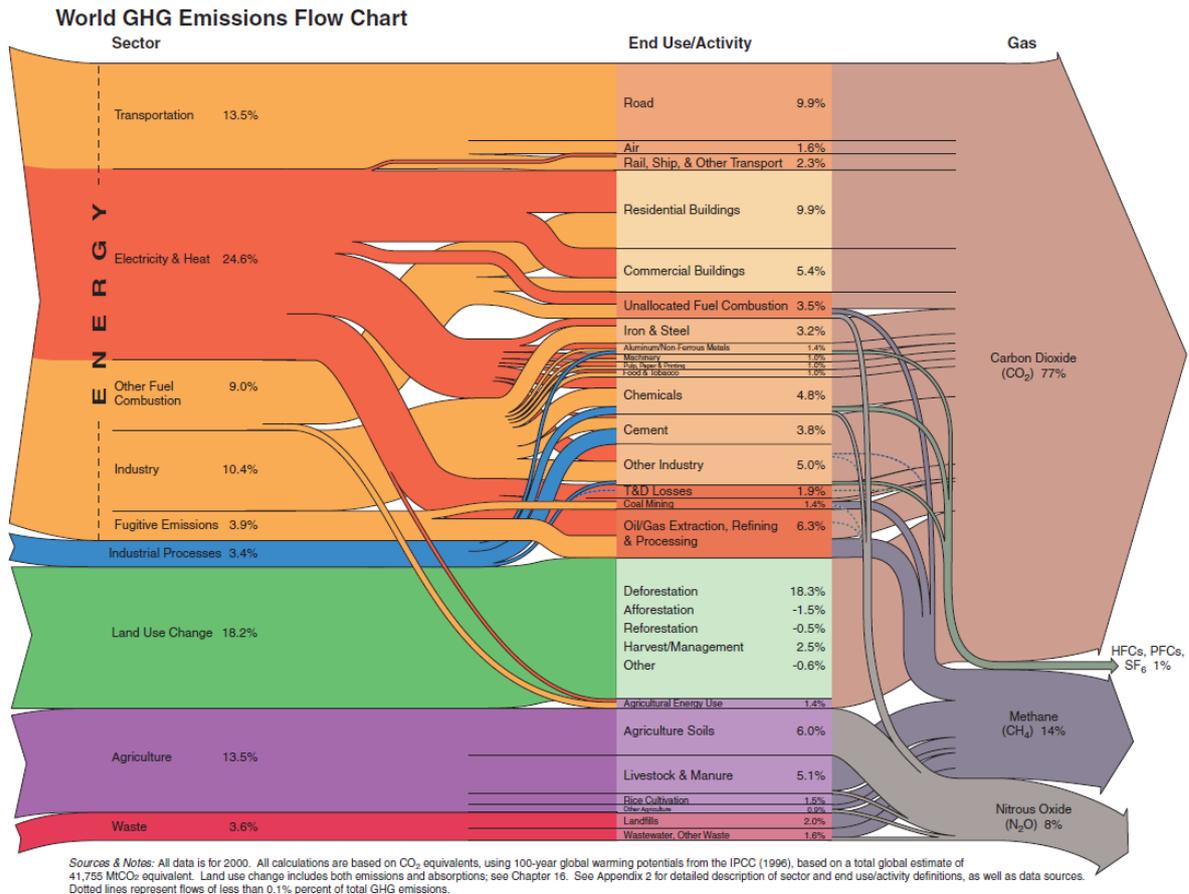
Uno de los principales causantes del elevado porcentaje en emisiones de dióxido de carbono es la industria del cemento, representando aproximadamente 5% de la producción del CO<sub>2</sub> global. La demanda del cemento aumenta anualmente y se estima un incremento a 4380 millones de toneladas para 2050 (Hasanbeigi, Price y Lin 2012; Barcelo et al. 2014). Esta industria tiene un proceso de manufactura que requiere de una cantidad considerable de energía que surge del uso de carbón en los hornos rotatorios y la energía necesaria para triturar el Clinker (Venkatarama Reddy y Jagadish 2003). Además, la mayor parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante la manufactura del cemento se originan en la quema de combustible fósil y la carbonización de limos (Rehan y Nehdi 2012) como se muestra en la imagen 1.



**Imagen 1.** Emisiones globales de CO<sub>2</sub> en el año 2000 y la contribución de la producción de cemento. Fuente: REHAN, R. y NEHDI, M., 2012. Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry. , vol. 8, no. 2005, pp. 105-114. DOI 10.1016/j.envsci.2004.12.006

De todas las actividades responsables de la emisión de gases de efecto invernadero, solo la industria del cemento representa un 3.8%, como se muestran en la imagen 2. Para disminuir este porcentaje será necesario aplicar medidas como la búsqueda de combustibles alternativos, procesos más eficientes energéticamente o la sustitución del Clinker. Sin embargo, incluso aunque estas soluciones se apliquen, no se logra alcanzar los objetivos planteados por la Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento (CSI) y la Agencia Internacional de Energía (IEA) para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Barcelo et al. 2014). Por ello la importancia de potenciar otros materiales que no representen una amenaza a las condiciones ambientales actuales.

Frente a este panorama, este Trabajo Final de Máster retoma los esfuerzos en curso para revalorizar la tierra como material de construcción mediante el desarrollo de un bloque de tierra, mejorando sus propiedades físicas y mecánicas mediante su estabilización con un gel de origen vegetal producto de la extracción del almidón contenido en el arroz. Siguiendo el desarrollo previamente realizado por Amiel López Dávalos sobre este bloque, este estudio se centra en determinar su comportamiento físico y mecánico, una vez sometido a alteraciones debido a su interacción con el agua en sus diferentes fases.



**Imagen 2.** Diagrama de flujo de emisiones de gases de efecto invernadero mundiales. Fuente: [http://pdf.wri.org/world\\_greenhouse\\_gas\\_emissions\\_flowchart.pdf](http://pdf.wri.org/world_greenhouse_gas_emissions_flowchart.pdf)

## 2 Materiales naturales en la construcción.

Se ha demostrado que se puede llegar a una reducción del 50% de la energía embebida en un edificio de mampostería con la sustitución de materiales convencionales por materiales renovables o eficientes energéticamente (Venkatarama Reddy y Jagadish 2003). Estos materiales se refieren a aquellos que puedan ser regenerados indefinida cantidad de veces y a una velocidad que sea igual o mayor de lo que se llega a consumir, buscando que no se degraden con el tiempo. Esto nos dice que los materiales de construcción renovables tienen que ser de origen vegetal o animal, ya sea obtenidos por crecimiento natural o deliberado cultivo (Felton, Fuller y Crawford 2014).

Una de las limitantes de la implementación de materiales de esta índole en la construcción es la cantidad de energía que requieren en su proceso de manufactura o por mantenimiento. Sin embargo, en la actualidad la generación de energía está cambiando a metodologías más limpias, por lo que el impacto de la demanda energética en la construcción se verá reducido y otros factores de la sostenibilidad tomarán mayor relevancia. La primera opción siempre son los materiales más durables, dejando como una opción alternativa a los materiales renovables. A diferencia del panorama actual, con acceso a energías limpias los materiales renovables pueden llegar a convertirse en la opción deseable ya que reemplazarlos se volvería viable (Felton, Fuller y Crawford 2014).

Además de ayudar a reducir la demanda energética y la generación de CO<sub>2</sub>, los materiales naturales tienen propiedades intrínsecas que, de utilizarse en la construcción, mejora las condiciones de habitabilidad. Estas características van desde regular pasivamente la humedad en un edificio, reducir la toxicidad, pueden llegar a tener una alta inercia térmica, y

se biodegradan al final de su ciclo de vida. Aún quedan muchas barreras para su uso en la construcción convencional. La falta de sustento científico y experiencia en su uso lleva a una percepción que estos materiales son de bajo nivel tecnológico y de desempeño pobre. Para que puedan competir con los materiales convencionales se necesitará este sustento sobre el cual ya se está trabajando en diversos cuerpos de investigación. Sin embargo, ya existen edificaciones tanto contemporáneas como de herencia patrimonial que representan excelentes ejemplos de su uso en la construcción (MacDougall 1996).

### 3 Construcción con tierra

Dentro de los materiales naturales de construcción, la tierra ha estado presente desde las civilizaciones antiguas. Estudios han evidenciado el uso de este material en los asentamientos humanos más antiguos y prueba de ello su presencia en la arquitectura vernácula a nivel global. El uso de la tierra en la construcción data desde estructuras de adobe en las villas de granjas neolíticas en Mesopotamia 7000 a.C. (Vilane 2010), con presencia en la China antigua a lo largo del Huang-ho, en las tierras desérticas del Océano Pacífico en América y en el Valle de Rift en África. La técnica constructiva cambiaba dependiendo de la región donde se edificaba con tierra, variando debido a diferencias climáticas, culturales, tradiciones constructivas, por características del proyecto, etc. El bloque de tierra o adobe fue una de las técnicas más utilizadas (Calderón Peñafiel 2013). En lugares donde había suelos aluviales, ricos en arena, limo y arcilla, la tierra se mezclaba con la paja de los cultivos agrícolas transformándola en un material que permitía construir con mayor solidez y durabilidad. Es así como comienzan los ladrillos de tierra secados al sol o sin cocer, comúnmente conocidos como adobes (GUILLAUD 2003). En la imagen 3 se muestran todas las zonas con presencia de construcción con tierra a nivel global.

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



**Imagen 3.** Construcciones de tierra a nivel global. Fuente: CRAterre

La construcción con tierra tuvo un decaimiento con la llegada de nuevas tecnologías que representaban el inicio de una nueva era para la construcción y para la humanidad. El hormigón armado, el acero, el vidrio, los plásticos y los polímeros impusieron nuevas formas de construir que han prevalecido con gran fuerza hasta hoy en día, provocando la pérdida de prácticas vernáculas que empatizaban con los recursos disponibles en el entorno inmediato. Solo en regiones, principalmente en países en desarrollo, donde las nuevas tecnologías no son tan asequibles se mantiene la construcción con materiales naturales como la tierra. Aun así, en estas regiones cultural, social y económicamente se busca tener un crecimiento mediante materiales industrializados por lo que el uso de materiales naturales va perdiendo valor en construcciones convencionales (GUILLAUD 2003). La creciente popularidad de los

materiales contemporáneos en la construcción ha impactado en la desacreditación de la tierra como material de construcción por su relativamente baja resistencia mecánica, durabilidad y por requerir de una labor intensiva. Aun así, la tierra mantiene sus propiedades como un recurso abundante, versátil y de inmediata disponibilidad.

A pesar de haber sufrido una decadencia, las técnicas de construcción con tierra tradicionales se han visto en un resurgimiento por su potencial como material de construcción con cualidades de carácter medioambiental y sus beneficios higro-térmicos y acústicos. Derivado de esto, en décadas recientes se ha incrementado el número de estudios que buscan potencial la tierra como un material de construcción contemporáneo (Dove 2014). Además, permanece como una opción viable gracias al patrimonio edificado en tierra. Como material de construcción viene a ser de gran interés por su baja demanda energética y porque difícilmente produce residuos. Si la tierra solo se ha adicionado con materia orgánica, puede volver sin problema al sitio de extracción, lo que reduce la cantidad de desechos a su fin de ciclo de vida. Incluso, de haber sido incorporado cemento o cal, se puede reusar.

En este proceso de redescubrimiento y revalorización, en Francia el grupo CRAterre junto al Ministerio de Obras Públicas, el centro George Pompidou y la Universidad de Grenoble realizó en el año del 76 Le domaine de la Terre. Fue una construcción de 65 viviendas de 3 a 5 plantas a lo largo de 11 manzanas. Se construyeron cinco manzanas con tapial, cinco con bloques comprimidos y uno con tierra y paja, quedando como modelo ejemplar en Europa (Gatti 2012). La tierra se está utilizando como material de construcción en edificaciones contemporáneas como se muestra en la imagen 4 y 5, dejándola al descubierto en un intento de demostrar que este material tiene gran potencial para competir con los predominantes hormigón y acero.



**Imagen 4.** Casa Ajijic por Tatiana Bilbao. Fuente: Dezeen



**Imagen 5.** Centro Cultural del Desierto Nk'Mip / DIALOG. Fuente: Plataforma de arquitectura.

La tierra es una mezcla de arcilla, arena, limos y ocasionalmente agregados de granulometría mayor. El tipo de tierra que se utiliza para la construcción debe extraerse bajo la capa vegetal, sin restos vegetales ni raíces y debe considerarse unas proporciones aproximadas de 0-15% grava, 40-60% arena, 18-35% limos y 15-20% de arcilla. Será necesario conocer la composición granulométrica de la tierra a emplear para conocer sus cualidades físicas y determinar la técnica que sea más favorable a partir de estas (Yuste 2009).

La principal razón por la que la tierra se convirtió en un material de construcción es debido a su contenido arcilloso. La estructura de la arcilla son silicatos laminares que se componen de la asociación de varias láminas apiladas, Estas son partículas muy finas de forma aplanada y que por tanto tienen una superficie específica muy elevada. La arcilla funciona como aglomerante el cual se activa con el contacto con las moléculas de agua (Calderón Peñafiel 2019).

Trabajar con tierra tiene sus ventajas e inconvenientes los cuales hay que tener presentes para asegurar su correcto uso en la construcción. Dentro de sus inconvenientes está la composición del material, la cual varía dependiendo del sitio de extracción por lo que habrá que estudiarse a detalle para determinar sus características e intervenirla de ser necesario. La tierra necesita agua para que la arcilla funcione como aglomerante, lo que puede traer fisuras causadas por retracción de secado si se le añade demasiada agua. Para ello, se pueden emplear aditivos o se puede optimizar la composición granulométrica. Además, deberá protegerse contra la acción de lluvia y heladas ya que no es impermeable (GONZÁLEZ SÁNCHEZ 2013).

En contraparte, la tierra es un material regulador de la humedad ambiental. Tiene la capacidad de absorber o liberar humedad más rápido y en cantidades superiores a las de cualquier otro material, lo cual la hace ideal para controlar la humedad de un recinto de forma natural. También puede regular el clima interior ya que es un material denso que almacena las ganancias térmicas en su interior y las libera de forma paulatina. Las labores para su extracción, transporte y manipulación son de bajo consumo energético, necesitando solo 1% de energía en relación a lo necesario para otros métodos como el hormigón armado. Puede volver a ser usada como materia prima o volver a su sitio de origen si no ha sido adicionada con aditivos que puedan transformar el material. Las técnicas donde se emplea tierra son

fácilmente replicables por personal no especializado siempre que se ejecute asesorado por un experto en la materia y no requiere grandes herramientas (GONZÁLEZ SÁNCHEZ 2013).

### 3.1 Mampostería de bloques de tierra

Existen diferentes tipos de sistemas constructivos para trabajar la tierra como material de construcción. Las técnicas se han clasificado en función de la plasticidad con la que se trabaja la tierra, identificándose doce métodos principales que se muestran en la “rueda de las técnicas” de CRAterre en la imagen 6.

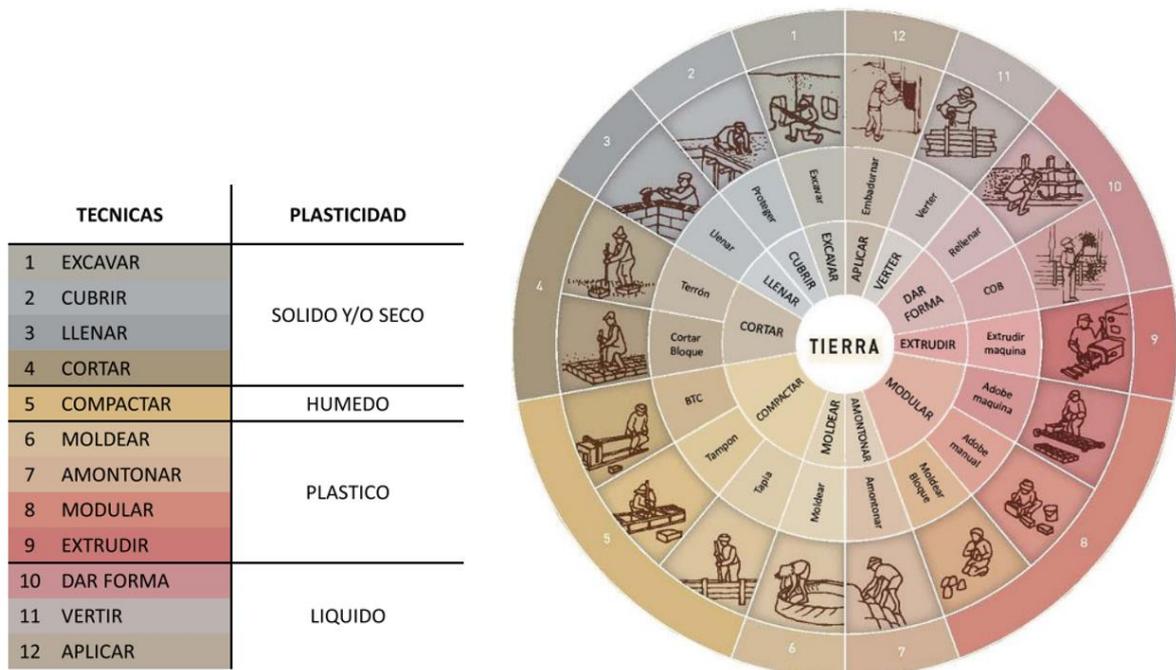


Imagen 6. Rueda de las técnicas. Fuente: CRAterre

Los bloques de tierra fue una de las técnicas más utilizadas y más antiguas fabricadas por el hombre. La denominación que reciben depende de su método de elaboración. Los adobes son bloques de tierra producidos a mano mediante moldes rellenos con barro y secados a la intemperie. Cuando se utiliza una prensa manual o mecánica para compactar la tierra en el molde se denominan bloques de tierra comprimida o BTC. Cuando son extruidos sin cocer se denominan ladrillos crudos. Aunque la nomenclatura asignada a cada técnica varía dependiendo la región y actualmente no hay normativa que las regule de forma global. Una de las grandes diferencias del BTC en contraparte con los adobes es su tamaño. La compresión le confiere mayor dureza por lo que es posible fabricarlo en dimensiones similares a las de un ladrillo o incluso más pequeños (Calderón Peñafiel 2013).

Actualmente en España existe normativa para el BTC. Pero para cumplir con los requisitos mecánicos de esta, se ha de agregar convenientemente cal o cemento como aditivo. Para que la tierra funcione como material de construcción en estos bloques es necesario estabilizarla con agregados que le permitan adquirir resistencia mecánica y que mejoren sus propiedades físicas. Los agregados pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos. La tierra es un material el cual, al cumplir su ciclo de vida en una construcción, puede reutilizarse o volver a su sitio de extracción. Sin embargo, la utilización de aditivos de origen inorgánico impide esta transición y convierten este potencial material sostenible en un residuo más. La utilización de aditivos de origen inorgánico como el cemento y cal cambia las propiedades estructurales de la tierra y tienen una elevada huella de carbono.

Por lo anterior expuesto, resalta la importancia de generar alternativas con aditivos de origen vegetal los cuales permitan una construcción con tierra totalmente sostenible y una notable disminución del impacto ambiental que genera esta industria. Utilizar la tierra como material de construcción enfrente como principal barrera su baja capacidad para soportar cargas, lo cual podría limitar su aplicación útil. Por lo tanto, parte de los esfuerzos es encontrar estrategias que mejoren la resistencia mecánica al igual que su durabilidad (Dove 2014).

### **3.2 Técnicas de estabilización**

La tierra por si sola carece de la resistencia, estabilidad, dimensión y durabilidad requerida para ser utilizada en la construcción. Sin embargo, estas deficiencias pueden ser resueltas mediante un proceso de estabilización por compactación mecánica y la adición a la matriz de la tierra de aglutinantes químicos, como son el cemento y cal (Walker 1995).

Aunque la adición de cemento a los bloques de tierra sin cocción incrementa su resistencia mecánica y reduce significativamente la cantidad de energía embebida necesaria para la manufactura de bloques similares, como los ladrillos o los bloques de concreto, hay un costo medioambiental que se deriva de la manufactura del cemento ya que este proceso libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> al ambiente y requiere de mucha energía.

Otra manera de mejorar las propiedades de la tierra sin cocción, manteniendo una relación respetuosa con el medio ambiente, es la utilización de componentes orgánicos como estabilizadores. Esta búsqueda se remonta a la prehistoria con la introducción de componentes como la orina, la sangre, el estiércol, el jugo de agave, el betún natural, la caseína proveniente de la leche, las fibras vegetales y animales, la arena, el yeso, la cal, las cenizas, las puzolanas, etc. Estos funcionaban como “estabilizantes” para la tierra, normalmente utilizados de forma empírica (Calderón Peñafiel 2019).

En la siguiente tabla se puede apreciar los diferentes tipos de aditivos que se han utilizado a través del tiempo como estabilizadores. Actualmente, aditivos como el cemento y la cal siguen utilizándose en mayor medida que otros aditivos orgánicos. Sin embargo, se puede apreciar una gran variedad de opciones que de ser potenciadas resaltando sus propiedades y beneficios, representan una alternativa competitiva contra lo convencional.

**Tabla 1.** Utilización de aditivos a través del tiempo en el territorio europeo. Fuente: LÓPEZ DÁVALOS, A., 2018. DESARROLLO DE UN NUEVO BLOQUE DE TIERRA MEJORADO CON LA INCORPORACIÓN DE GEL DE ORIGEN VEGETAL.

UTILIZACION DE COMPONENTES ORGANICOS A TRAVES DEL TIEMPO												
LISTADO DE ADITIVOS	150 AC	46 AC	23 DC	800 DC	1200DC	1500DC	1653 DC	1703 DC	1750 DC	1850 DC	2015 DC	
CEMETO											X	
CAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BITUME		X									X	
SANGRE	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
ALBUMN	X											
GRASA		X	X					X				
ORIN					X	X						
QUESO							X	X	X	X		
CASEINA	X	X				X	X			X	X	
MANTEQUILLA										X		
CERA					X	X		X	X			
ESIERCOL								X				
QUERATINA	X											
COLA AIMAL	X							X		X		
SHELLAC										X		
RESINA									X			
SISAL									X	X		
ARROZ					X	X						
AZAFRAN				X								
AZUCAR					X	X				X		
MERMELADA										X		
ALGODÓN								X	X	X		
CORTEZA			X									
CEBADA			X						X			
GLUTEN					X	X						
M. CENTENO		X							X			
AGABE					X					X		
BANANO					X					X		
NOPAL												
ADRAGANTE		X				X				X		
SAVIA HIGO	X	X	X						X			
EUPHORBIA		X	X						X			
ACEITE LIN					X					X	X	
ACEITE PIM					X					X	X	
ALMIDÓN					X	X				X		
TANINO			X									
VINO			X									
MOSTO					X			X				

### 3.2.1 Materiales orgánicos y biopolímeros como estabilizadores

Los materiales de origen orgánico se han incorporado en la construcción mezclados con materiales inorgánicos para la creación de materiales híbridos desde tiempos pasados. Se han utilizado en morteros como aditivos orgánicos, en los que encontramos fibras, extractos de plantas, desechos agroindustriales y aceites o grasas. Se utilizaban para mejorar las propiedades de los morteros comúnmente elaborados con cal y arena. Cada civilización utilizaba diferentes materiales para estabilizar sus morteros de cal y arena, dependiendo de los recursos que tenían disponibles. La incorporación de estos materiales orgánicos datan desde 3000 a.C., con los sumerios incorporando betún en sus mezclas de arcilla y paja (Plank 2004).

Los romanos utilizaron ceniza volcánica para mejorar sus morteros, mientras que en China utilizaban una pasta de cal con arroz glutinoso, mezclado comúnmente con otros componentes orgánicos como aceite de tung, jugo de hojas vegetales, clara de huevo y sangre animal (Wei et al. 2012; Xiao et al. 2014). El arroz glutinoso resultaba un buen estabilizante por su alto contenido en amilopectina, uno de los componentes principales del almidón. La adición de almidón a morteros es una técnica ancestral de la antigua China en donde se incorporaba arroz glutinoso por su alta resistencia adhesiva, buena durabilidad e impermeabilidad. Desde la dinastía Song a la Qing era utilizado en la construcción de tumbas y se decía que era “duro como una piedra”. Era tan firme que al descubrirse ni las excavadoras pudieron hacerles algo. Muchas de las construcciones de estos periodos en China prevalecen hasta el día de hoy (Yang et al. 2009). También, debido a sus propiedades impermeables de este mortero, se utilizó en facilidades para recursos hídricos (Fuwei, Bingjian y Qinglin 2010).

En tiempos modernos también se ha utilizado este mortero con almidón, por ejemplo, en las torres de Kaiping en la provincia de Guangdong en China. Estas torres de tierra apisonada son un desarrollo de la antigua técnica de construcción china utilizando tierra apisonada dentro de marcos de tablonés. En su mayoría usan arcilla, cenizas y guijarros o grava, con azúcar crudo y pasta de arroz glutinoso, mezclados para formar el material de construcción. Esta villa compuesta por diversas torres de viviendas fue construida principalmente entre 1920 y 1930 y prevalece como sitio patrimonial (Huadong 2013).

## 4 Almidón

El almidón es uno de los productos procedente de las plantas más importantes tanto en la industria alimenticia como en otras industrias. Resalta su relevancia por ser un producto relativamente barato y renovable. Los cultivos más importantes de donde se extrae el almidón son el maíz, el arroz, el trigo y la patata. El 60% se destina a la industria alimenticia mientras que el 40% se destina a otras industrias. Su uso en fines industriales es como aditivo en cemento sustituyendo aditivos derivados del petróleo, en la fabricación de yeso, para tableros tipo pladur, como adhesivo, bioplásticos, entre otros. El almidón ha sido utilizado desde siglos pasados como adhesivo por los romanos y con fines medicinales por los griegos (Andreu-Rodríguez et al. 2014; Amaya-Pinos 2018; Burrell 2003).

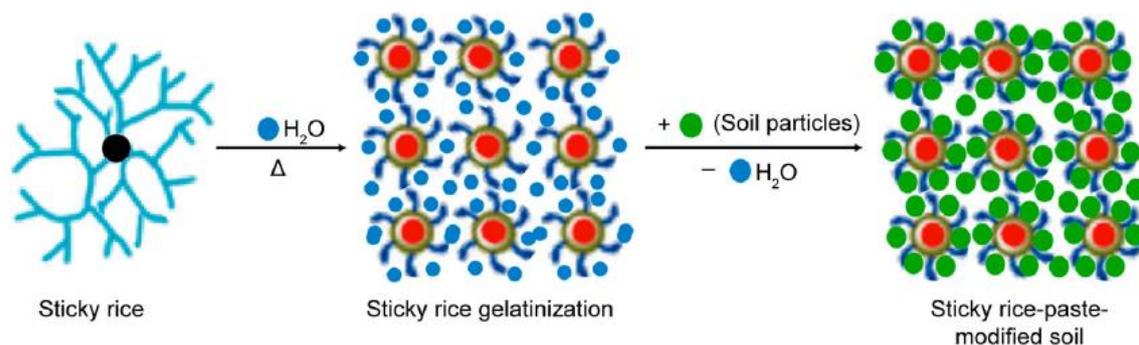
El almidón es un polisacárido mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, en diferentes proporciones con predominancia del contenido de amilopectina. Está presente en plantas naturalmente, en forma de granos. El almidón en procesos industriales es utilizado en forma de gel acuoso. Este gel se forma hirviendo los granos en agua para liberar las cadenas de polímero. Dentro de los biopolímeros, este polisacárido logra mejorar la solidez de la tierra hasta un 50%. Aunque se ha de tener en cuenta que la mejora lograda dependerá de la naturaleza de la arcilla y su química (Tourtelot et al. 2021).

#### 4.1 Almidón como aditivo para bloques de tierra sin cocción

Investigaciones en la construcción tradicional de China han encontrado que la pasta de arroz pegajoso ha sido utilizada como material de construcción. Por sus propiedades básicas como su viscosidad y visco-elasticidad, buena resistencia a la corrosión y a las inclemencias climáticas, y un coeficiente de expansión pequeño, se ha utilizado en la antigua China como aglutinante en componentes estructurales, destacando su presencia en mamposterías. Además, este material posee una alta fuerza cohesiva, es permeable, y resiste a la humedad, el calor y al envejecimiento (Pei, Wang, Guo, et al. 2020).

Los estudios que se han realizado analizando la tabia, la cual es un mortero de cal y arroz glutinoso, han mostrado que hay una mejora en la resistencia mecánica de este por el cambio en la estructura del mortero debido a la introducción del almidón contenido en el arroz. Se logra obtener una estructura porosa más fina, por lo que se tiene una textura más compacta lo que lleva al mejoramiento de su comportamiento mecánico (Yang et al. 2016).

Los estudios de la interacción entre tierra y almidón proveniente del arroz glutinoso muestran que las partículas de almidón se dispersan uniformemente y se envuelven alrededor de las partículas de tierra, llenando la porosidad en las estructuras de tierra lo que reduce su radio de porosidad e incrementa su cohesión. Cuando el agua se evapora, solidifica las partículas del suelo, produciendo una estructura más densa (Pei, Wang, Guo, et al. 2020) como se ejemplifica en la imagen 7.



**Imagen 7.** Diagrama esquemático representando la gelatinización del arroz pegajoso y la modificación de la tierra. Fuente: PEI, Q.Q., WANG, X.D., GUO, Q.L., ZHAO, L.Y., ZHANG, B. y LI, Z.P., 2020. Action Mechanism of Sticky Rice-Paste-Modified Site Soil: A Tradit

Además de mejorar las propiedades mecánicas de la tierra, mejora su impermeabilidad mediante su estructura densa debido a su baja porosidad, lo que lleva a un bajo índice de penetración interior de moléculas de agua (Pei, Wang, Zhao, et al. 2020).

## 5 Campaña experimental

Este estudio se realiza para obtener datos científicos de la tierra estabilizada con gel de origen vegetal (GOV) a base de almidón que respalden su eficiencia como material para la fabricación de bloques de mampostería sin cocción. Se pretende conocer su resistencia mecánica y física, principalmente una vez envejecidos los bloques. El factor de alteración que se estudiará será el agua, en sus diferentes fases (ciclos de humedad-sequedad, corrosión salina, y hielo-deshielo).

### 5.1 Objetivos de la campaña

El objetivo es lograr un mejoramiento en las propiedades de un bloque de tierra mediante un procedimiento respetuoso con el medio ambiente, obteniendo así un producto ecológico y fácilmente replicable.

Se plantean a partir de este objetivo general los siguientes objetivos específicos:

- Mejorar las características físicas y mecánicas de un bloque de tierra con la incorporación de un gel de origen vegetal (GOV).
- Aportar una alternativa a la industria de la construcción que sea de bajo impacto ambiental.
- Comprobar que este bloque de tierra con GOV cumple con las exigencias mínimas requeridas por normativa.
- Proporcionar una metodología que sea fácilmente replicable para personas con acceso limitado a recursos y, por consiguiente, aportar a que el autoconstruir de manera asistida mejore el bienestar y la seguridad de los sectores más vulnerables.

### 5.2 Estructura para el desarrollo de la campaña

#### 5.2.1 Ensayos previos

En esta etapa se pretende encontrar la dosificación del GOV y de tierra más óptima para la fabricación del bloque. Para ello se realizarán probetas elaboradas con diferentes dosificaciones de arcilla, arena y GOV y posteriormente se observarán para determinar las que muestren mejores resultados.

#### 5.2.2 Caracterización del material

Los compuestos a utilizar son arcilla, árido fino y el GOV. La arcilla es una arcilla micronizada Lila de la empresa Argiles Colades S.A. y el árido fino es triturado de mármol dolomítico de fracción granulométrica 0mm-1mm de la marca Micromar. El GOV es producido mediante la extracción del almidón al arroz de tipo convencional, proceso que se describirá posteriormente.

#### 5.2.3 Ensayos a realizar

Se sigue la normativa para BTC (Bloque de tierra comprimido) UNE 41410:2008 como referencia para comparar los resultados con las exigencias mínimas requeridas a un bloque de tierra. Los ensayos a realizar se segmentan de la siguiente manera:

##### 5.2.3.1 Estado Fresco

- Consistencia
- Retracción
- Control de humedad

##### 5.2.3.2 Estado endurecido

- MOE Módulo de Young
- Flexión y compresión
- Porosidad y densidades

### 5.2.3.3 Envejecimiento

- Humectación y secado
- Hielo-deshielo
- Corrosión salina
- Control del envejecimiento

### 5.2.3.4 Comportamiento frente al agua

- Absorción de agua por capilaridad
- Permeabilidad al vapor de agua
- Erosión acelerada Swinburne

## 5.3 Procedimiento del desarrollo de la campaña experimental

1. Primeramente, se elaborará el GOV
2. Se probará el GOV directamente con la arcilla, elaborando probetas de prueba.
3. Una vez seleccionando las muestras con los mejores resultados, se volverán a fabricar probetas de prueba, esta vez adicionando a la arcilla con árido fino.
4. Una vez definidas las dosificaciones que mostraron mejores resultados, se procede a la elaboración de las probetas: 15 probetas por muestra de 4x4x16 cm y 3 probetas por muestra de 10x10x2 cm.
5. Transcurridas 24hrs se desmoldan y se dejan secar en un ambiente interior de  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  y HR de  $50\pm 5\%$ , con control de peso cada 24hrs.
6. Las probetas se proceden a ensayar una vez secas, es decir, ya que la variación de su peso no supera los 0,1%, o ya que cumplen lo requerido por normativa.

Se realizarán cuatro muestras variando el componente de humectación utilizado y la dosificación de arcilla-árido fino. Se identifica con A las probetas realizadas con agua y con AA las probetas elaboradas con GOV de almidón de arroz.

**Tabla 2.** Muestras realizadas. Fuente: Elaboración propia.

Muestras	Humectación	% de humectación	Proporción arcilla:árido	Simbología	No. de probetas
Muestra 1	Agua	25%	3:1	A 3:1	18
Muestra 2	Agua	25%	2:1	A 2:1	18
Muestra 3	GOV_AA	25%	3:1	AA 3:1	18
Muestra 4	GOV_AA	25%	2:1	AA 2:1	18

**Tabla 3.** Probetas por ensayo a realizar. Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Estado endurecido		Envejecimiento			Comportamiento frente al agua		
	MOE	Fc,Ff	H/S	H/D	CS	SAET	SC	PV
M1	15	3	3	3	3	3	2	6
M2	15	3	3	3	3	3	2	6
M3	15	3	3	3	3	3	2	6
M4	15	3	3	3	3	3	2	6

Nota: Módulo de Young (MOE); resistencia a compresión (Fc); resistencia a flexión (Ff); ensayo de humedad/secado (H/S); ensayo de hielo/deshielo (H/D); ensayo de corrosión salina (CS); erosión acelerada Swinburne (SAET); absorción de agua por capilaridad (SC); permeabilidad al vapor de agua (PV); muestra 1 (M1); muestra 2 (M2); muestra 3 (M3); muestra 4 (M4).

## 6 Ensayos previos

### 6.1 Caracterización del material

#### 6.1.1 Tierra

##### Análisis granulométrico

La granulometría se conoce mediante información suministrada por el distribuidor y extraída de la tesis de Juan Carlos Calderón Peñafiel. En su tesis también se proporcionan los datos referentes al límite líquido por el método de la cuchara de Casagrande y el límite plástico, siguiendo las normativas UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993.

**Tabla 4.** Granulometría de arcilla LILA. Fuente: CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2019. Estudio experimental de geopolímeros de arcillas (Experimental study of clay geopolymers).

INFORMACIÓN DEL DISTRIBUIDOR - GRANULOMETRÍA	
GRANULOMETRÍA	ARCILLA TIPO B (%)
0,500	0,00
0,300	0,00
0,125	6,13
0,090	6,81
0,063	9,71
0,045	13,53
0,036	36,02
RESTO	27,01

**Tabla 5.** Límite líquido y límite plástico de arcilla LILA. Fuente: CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2019. Estudio experimental de geopolímeros de arcillas (Experimental study of clay geopolymers).

LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO (UNE 103-103-94 Y UNE 103-104-93)	
PLASTICIDAD	ARCILLA TIPO B
Límite líquido	40,8
Límite plástico	25,4
Índice de plasticidad	15,4

#### 6.1.2 Gel de origen vegetal (GOV)

El gel se obtiene con la extracción del almidón contenido en el arroz; colocando los granos en agua hirviendo hasta formar un líquido de consistencia viscosa. De forma exploratoria se realiza este procedimiento con almidón presentado en otros formatos y derivados de otras fuentes vegetales. Además de arroz, las fuentes de almidón para la elaboración del gel son harina de arroz glutinoso, almidón de tapioca en polvo y almidón de maíz en polvo. Se explora la fabricación del gel mediante la utilización del almidón en polvo para, en caso de obtener los mismos resultados del gel fabricado con el grano de arroz, evitar tener un residuo al final del proceso. Además, el almidón de tapioca y maíz se estudia para comparar su efectividad en relación al almidón del arroz, ya que de ser efectivos se tendrían más alternativas a disposición para la fabricación del gel. Otra ventaja que se proyecta mediante la utilización del polvo de almidón para la elaboración del GOV es la de extraer una mayor cantidad de almidón durante el tiempo de calentamiento.

### 6.1.2.1 Proceso de elaboración

En una proporción de 5:1, siendo 5 porciones de agua por cada 1 de arroz, se hierve el arroz a fuego lento hasta que el arroz tenga una consistencia pastosa y el agua combinada con el almidón ha tornado en una consistencia viscosa. Se retira el arroz con un colador y se conserva el gel acuoso resultante. Se puede almacenar el gel resultante durante 3-4 días, ya que pasado este tiempo el gel comienza a pudrirse, desprende malos olores y cambia su composición lo que impide seguir utilizándolo.

Con la harina de arroz glutinoso se utiliza 100g por cada litro de agua. Se hierve el agua y se agrega esta harina. Posteriormente se deja hervir durante 15 minutos, con un batido manual constante, resultando en un gel acuoso. Este gel se puede almacenar durante 3 días ya que pasando este tiempo comienza a pudrirse, generando malos olores y cambiando su consistencia lo cual inhabilita su uso. No se recomienda hervir durante más tiempo ya que resulta en una pasta más densa que el gel acuoso esperado.

Para el almidón de tapioca en polvo se utiliza 100g por cada litro de agua. Se hierve el agua y se agrega este almidón. Se sigue el mismo procedimiento que en el gel anterior, con 15 minutos de hervido aproximado, batiendo constantemente, hasta que se torne en un gel acuoso. Este gel puede almacenarse no más de 4 días, ya que comienza a pudrirse, genera malos olores y su consistencia se deteriora, lo que impide su utilización como estabilizante. Un mayor tiempo de hervido solidifica la consistencia del gel, por lo que se obtiene un gel muy denso como para trabajarlo con tierra. A diferencia de los geles de almidón de arroz, este es de consistencia pegajosa. Esta característica complica la humectación deseada de la tierra al contacto con este GOV, por lo que no se recomienda.

Se realizaron tres pruebas para el proceso de la fabricación del gel con almidón de maíz en polvo. La primera se siguió la misma metodología que con la harina de arroz glutinoso y el almidón de tapioca. Sin embargo, el gel resultante se solidificaba alrededor de una hora después de su producción. Se redujo la cantidad de almidón de maíz utilizado a 70g y una tercera prueba con 50g por cada litro de agua. Se logró aumentar el tiempo al que comienza a solidificarse, pero no es un gel que pueda almacenarse. Por dificultad en mantener la consistencia deseada, este GOV no se recomienda.

### 6.1.2.2 Medición de la densidad del GOV

Se midió la densidad relativa de los GOV elaborados con un densímetro, como se muestra en la imagen 8. En la siguiente tabla se pueden apreciar las densidades obtenidas por cada GOV. En la tabla 6 se observa al inicio la densidad del agua el cual es útil como referencia para evaluar que tan denso es el GOV con el que se pretende trabajar. El GOV de almidón de arroz, es el menos denso y del que se espera se obtengan mejores resultados. El GOV de almidón de maíz no logró tener una consistencia de gel acuosa por lo que se excluyó de esta medición.

**Tabla 6.** Densidad de GOV. Fuente: Elaboración propia.

GOV	Densidad g/ml
Agua	1
Almidón de arroz	1,11
Harina de arroz glutinoso	1,14
Almidón de tapioca	1,23



**Imagen 8.** Determinación de densidad en laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3 Determinación de consistencia (por mesa de sacudidas)

Para medir el nivel de consistencia de la mezcla de arcilla, árido y GOV, con el objetivo de medir su fluidez a través de este ensayo, se siguió la metodología de la UNE-EN 1015-3.



Instrumentalización:

- Una mesa de sacudidas
- Un molde troncocónico
- Un pisón
- Un calibre capaz de medir diámetros de hasta 300 mm con una exactitud de 1mm
- Una paleta
- Una regla para enrasar

**Imagen 9.** Mesa de sacudidas. Fuente: Elaboración propia

La consistencia de los morteros resultantes no era fluida, como se muestra en la imagen 9, por lo que se puede proceder a realizar un BTC, pero no una probeta por extrusión. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos tras el ensayo, sin embargo, no representan un dato útil para evaluar la consistencia del mortero elaborado en ninguna de las muestras.

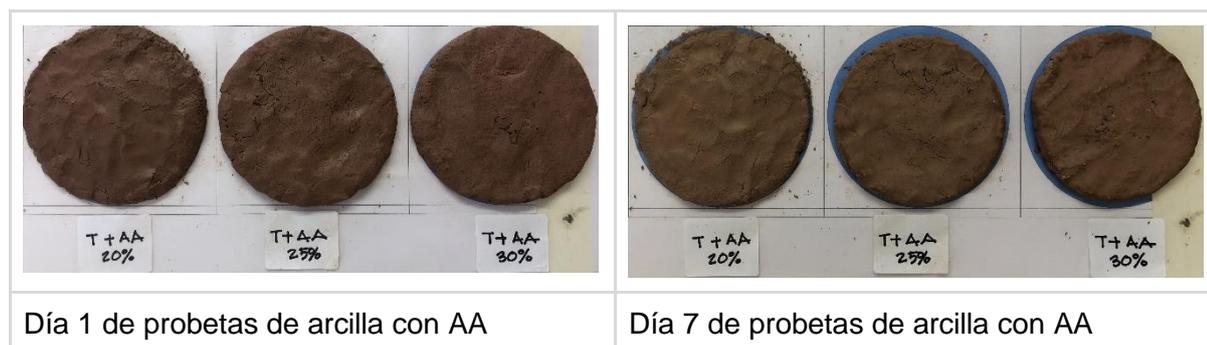
**Tabla 7.** Consistencias de GOV por mesa de sacudidas. Fuente: Elaboración propia

Muestra	Diámetro 1	Diámetro 2	Valor medio
1:3 Agua 25%	18,1	18,2	18,15
3:1 Agua 25%	12	12	12
1:3 AT 30%	12	12,5	12,25
1:3 HAG 30%	11,2	12	11,6
1:3 HAG 35%	12,5	12,7	12,6
1:3 AA 25%	12,5	13	12,75
1:3 AA 30%	14	13,9	13,95
3:1 AA 25%	12	12	12

Nota: Almidón de tapioca (AT); harina de arroz glutinoso (HAG); almidón de arroz (AA).

## 6.2 Seguimiento visual

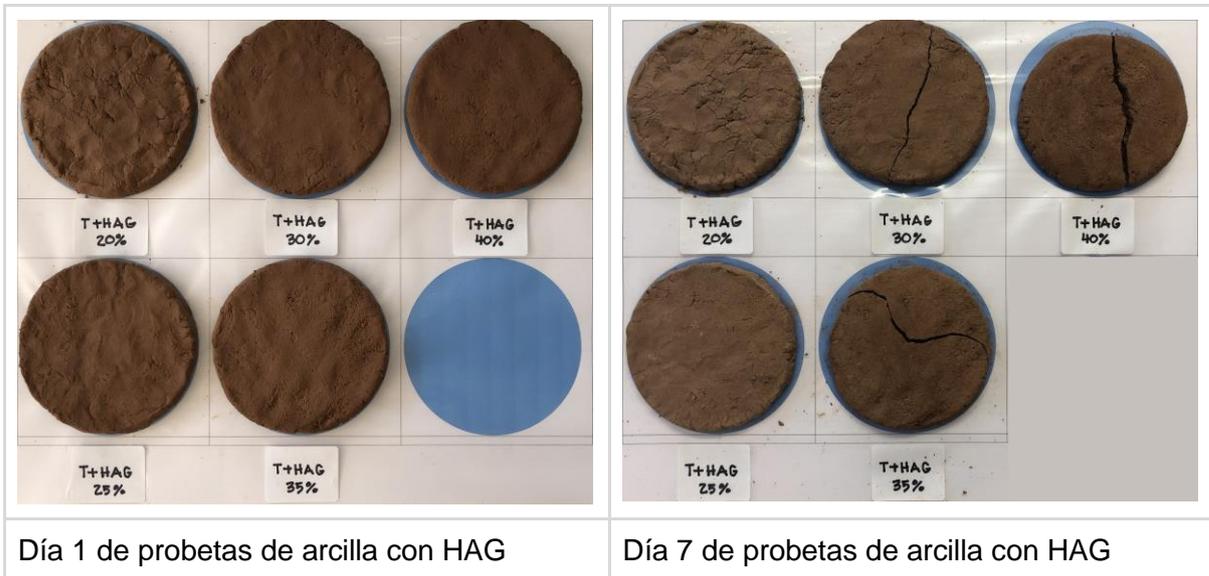
Se realizaron probetas de prueba con arcilla y cada GOV elaborado para realizar observaciones que lideraran a la dosificación más óptima. Los GOV elaborados fueron con almidón de arroz (AA), harina de arroz glutinoso (HAG), almidón de tapioca (AT) y almidón de maíz (AM).



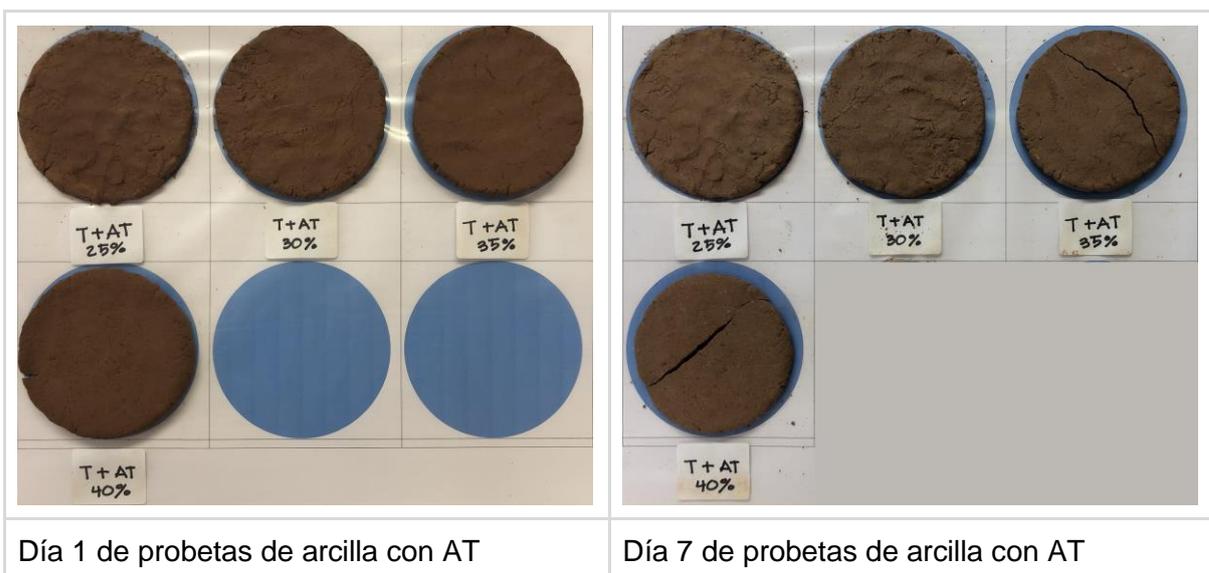
Día 1 de probetas de arcilla con AA

Día 7 de probetas de arcilla con AA

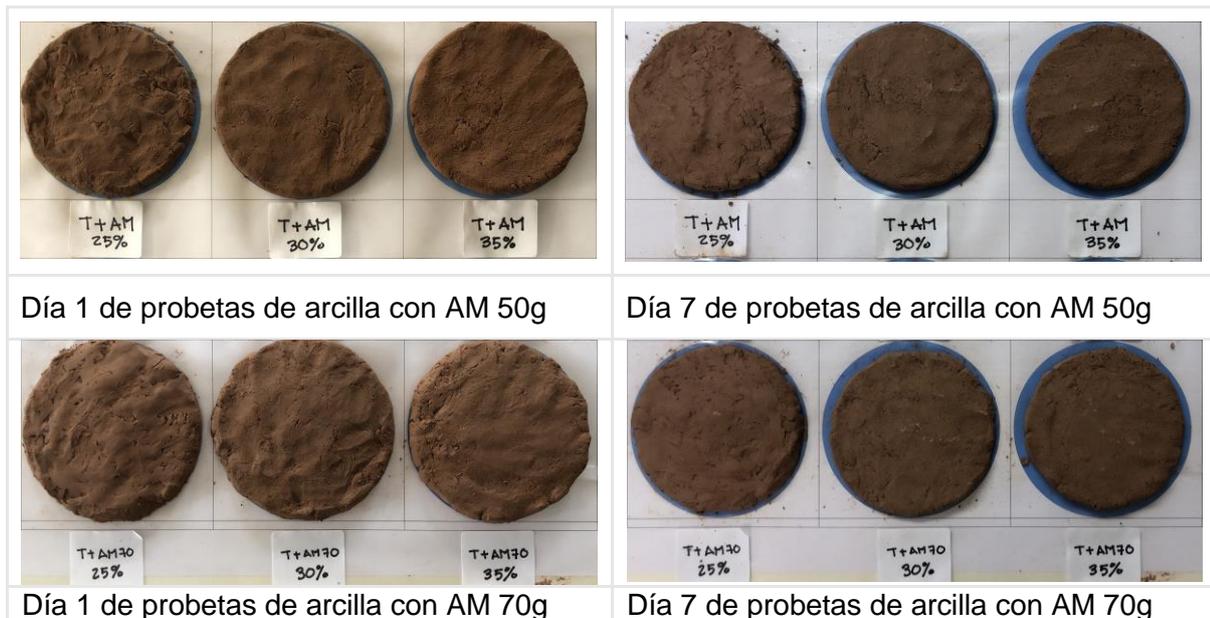
Las probetas de almidón de arroz fueron las que mejores resultados mostraron debido a que con un pequeño porcentaje de GOV se pueden elaborar, y no se presentaron fisuras por retracción de secado. Se realizaron pruebas con un rango de 20-30% de GOV sobre la cantidad de arcilla. Aunque hubo retracción por secado, no se llegan a fisurar a 30% de humectación como su contraparte con el uso del arroz en el formato de harina para la fabricación del GOV. La densidad del GOV permite trabajar con humectaciones tan bajas como 20%, sin embargo, 25% resulta ser la más óptima por su manejabilidad.



La baja densidad del GOV de HAG hizo posible realizar diversas dosificaciones. Sin embargo, solo en dosis pequeñas, entre un 20-25% se logra evitar agrietamiento. Además, se observó que dosificaciones tan bajas como un 20% la tierra está tan poco hidratada que es quebradiza y difícil de trabajar. Aunque 25% de este GOV parece lo óptimo, se observó también bastante retracción.

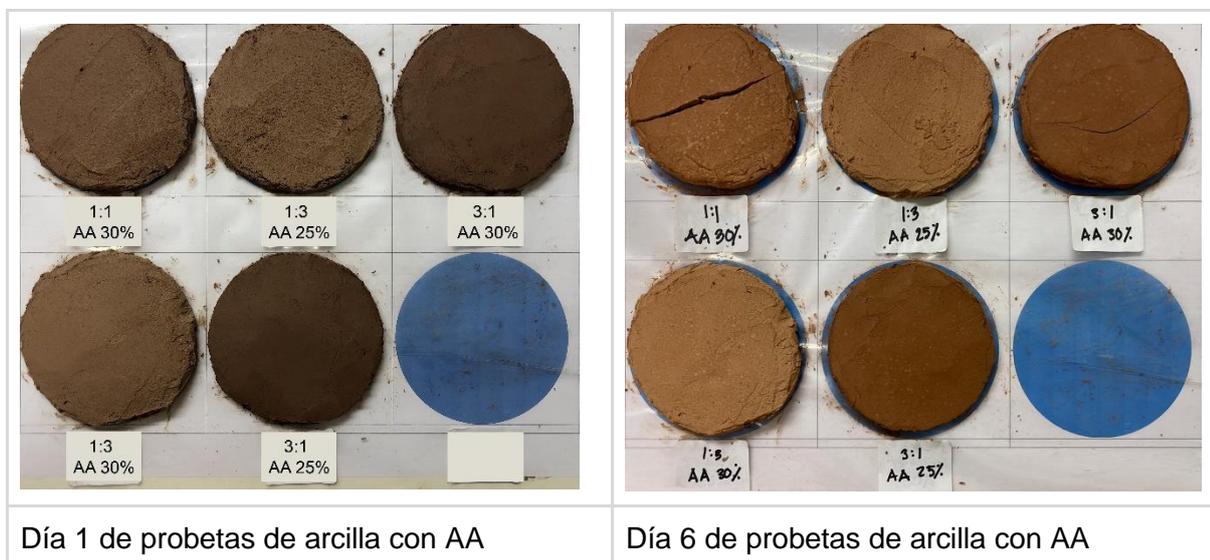


La densidad de GOV de AT solo permitió trabajar con dosificaciones entre 25-40%. Arriba de 35% se agrietaron y por encima de 30% hay una retracción significativa. Por la alta densidad de este GOV, se vuelve complicado humectar la tierra con dosificaciones bajas. Por lo anterior expuesto, se optó por descartar esta opción para probetas futuras.



El GOV de almidón de maíz fue el más complicado de manejar ya que a las horas de fabricación comienza a solidificarse. Observando esta problemática en la etapa de preparación de GOV, se optó por reducir el gramaje utilizado a 50g y 70g por cada litro de agua. Se lograron realizar probetas con estos GOV, sin embargo, se descartó su uso posterior por tratarse de un GOV inconsistente. Se observó en las probetas una significativa retracción por secado.

Se realizó una segunda etapa con probetas de prueba, en esta ocasión agregando árido fino en diferentes proporciones para disminuir la retracción. Se utilizó como GOV el almidón de arroz y la harina de arroz glutinoso.

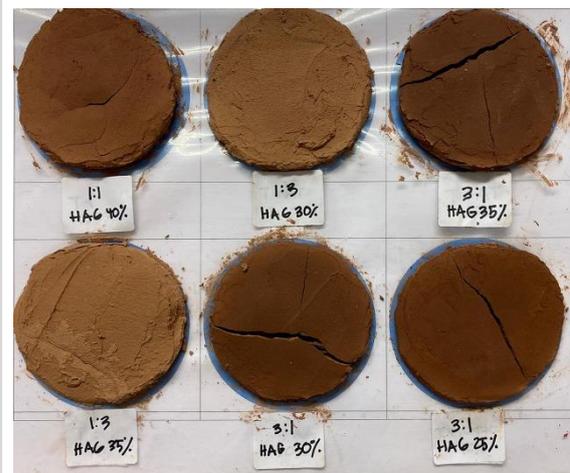


Las probetas con un contenido de 30% de GOV de almidón de arroz se agrietaron, por lo que se consideró 25% la dosificación óptima. Aunque se agregó árido fino, hubo retracción, pero no fue tan significativa como se había observado anteriormente. Dependiendo de la cantidad de árido fino agregado, las probetas adquieren una coloración diferente siendo más oscuras a mayor contenido de arcilla. Esta variación de color también se hace notoria por el tiempo de secado que implica cada dosificación, siendo menor cuando hay un mayor contenido de arcilla y la humectación es menor. Finalmente, se decide que la dosificación con mayor contenido

de arcilla había mostrado un mejor resultado visualmente por lo que se procede a tomar la relación 3:1 como guía para probetas futuras.



Día 1 de probetas de arcilla con HAG



Día 6 de probetas de arcilla con HAG

A diferencia de la etapa previa, en esta ocasión las probetas de muestra con GOV de harina de arroz glutinoso mostraron en casi todas las distintas muestras agrietamiento. Por lo anterior expuesto, se decide descartar este GOV para uso futuro dentro de este estudio. Sin embargo, por la existencia de literatura que sustenta un buen comportamiento combinado con tierra y resultados favorables en la etapa pasada, será interesante continuar realizando pruebas con este GOV. La mejor muestra es la de GOV de almidón de arroz a un 25% sobre la cantidad de arcilla y una dosificación de arcilla-árido fino de 3:1 (AA 3:1), por lo que es la que se utilizará para las probetas a ensayar. Se hace una adición de la dosificación 2:1 (AA 2:1) como referente comparativo de la influencia del contenido arcilloso en los resultados.

### 6.3 Preparación de las probetas

Se realizaron en total 60 probetas de 4x4x16cm y 12 probetas de 10x10x2cm. La tierra utilizada ha sido una combinación de arcilla y árido fino a proporciones de 3:1 y 2:1, conservando el contenido de arcilla como el dominante. Los humectantes utilizados son agua y el GOV, 25% sobre el contenido de arcilla. Se mezcló la tierra con el humectante en una mezcladora durante 60 segundos. Posteriormente, se vertió la mezcla resultante en los moldes como se muestra en la imagen 10. Se compactaron manualmente por capas de 1cm de espesor y se desmontaron transcurridas las 24 horas. Se secaron a temperatura ambiente, separándolos de la superficie con prismas de poliestireno para permitir que secan homogéneamente por todas sus caras. Las probetas secas se pueden visualizar en la imagen 11.



**Imagen 10.** Probetas en producción. Fuente: Elaboración propia

**Imagen 11.** Probetas secas. Fuente: Elaboración propia

## 7 Ensayos realizados

Las muestras 1 y 2 se utiliza como referencia para evaluar la mejora obtenida con la incorporación del GOV.

### 7.1 Estado fresco

La consistencia de todas las muestras fue la misma, con una humectación en todas del 25% sobre la cantidad de arcilla, considerado tanto para las probetas de tierra y agua como para las de tierra y GOV. En un periodo de dos semanas secadas al aire mostraron una variación de peso mínima, por lo que se pudo deducir un tiempo mínimo de secado de 14 días. Las dosificaciones de tierra utilizadas fueron 3 de arcilla y 1 de árido fino y, 2 arcilla y 1 de árido fino. Se logró disminuir la retracción que se observaba trabajando con arcilla cuando se introdujo el árido fino. Sin embargo, se deberá seguir trabajando en una dosificación que permita una mayor reducción ya que las probetas tuvieron retracciones en su mayoría cercanas a 5mm.

### 7.2 Estado endurecido

#### 7.2.1 Módulo de Young dinámico (MOE)

El Módulo de Young dinámico se determina con un cálculo que involucra las dimensiones y masa de la probeta y su frecuencia de resonancia. Inicialmente el procedimiento seguido para la obtención de estos datos había sido el descrito en la UNE-EN ISO 12680-1. Sin embargo, la metodología planteada no proporcionó una precisión adecuada, por lo que se optó por utilizar el equipo emisor-receptor de ondas de ultrasonido que emiten a 55 kHz. Se midieron las dimensiones de las probetas y su peso según la norma UNE-EN 14579:2005 para piedra natural. Posteriormente, se realiza la lectura de la velocidad de propagación de ultrasonidos mediante el aparato de ultrasonidos Pundit Lab + Ultrasonic Instrument de PROCEQ, mostrado en la imagen 12. Este equipo mide el tiempo al que viaja una onda ultrasónica al propagarse por la probeta, registrado mediante dos transductores de contacto, y el resultado es mostrado en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ). Con los datos obtenidos, se calcula el MOE. Ya que este método es no destructivo, las probetas pueden utilizarse en otros ensayos.

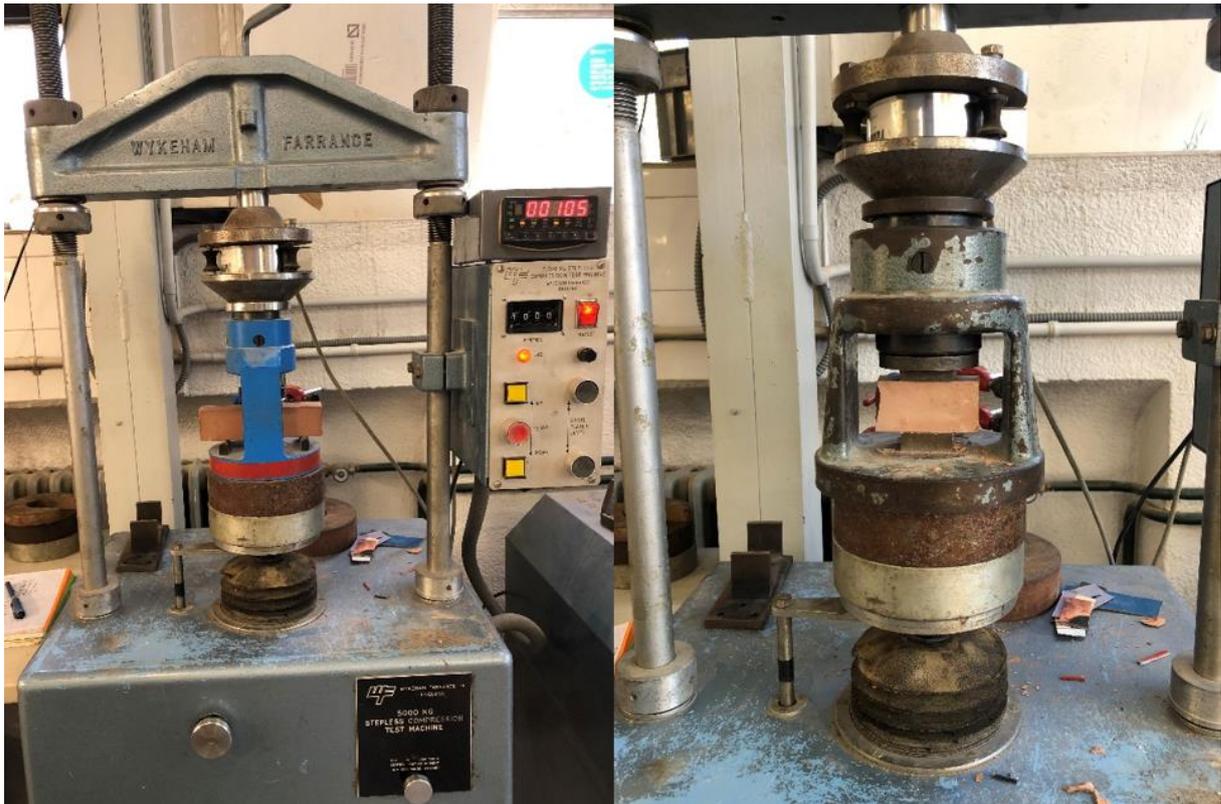


**Imagen 12.** Equipo de ultrasonidos para ensayo de Módulo de Young dinámico. Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.2 Ensayo a compresión y flexión

Para el ensayo a compresión se siguió el procedimiento descrito en la norma UNE 772-1:2011, conforme lo indica la norma de BTC UNE 41410:2008. Se utilizó la prensa Wykeham Farrance de 5000 kg, mostrada en la imagen 13, y una velocidad de aplicación de carga de 1000mm/min, dentro del Laboratorio de Materiales de la EPSEP. Se obtiene una resistencia media o resistencia promedio con la media aritmética de los valores obtenidos de los ensayos.

Para el ensayo de la resistencia a flexión se utilizó la misma prensa con un elemento que permite la aplicación de la carga en tres puntos de la probeta. La probeta se coloca sobre dos puntos de apoyo y se somete a carga en un punto central.



**Imagen 13.** Preparación para ensayo de flexión y compresión en prensa Wykeham Farrance. Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3 Porosidad y densidades

Se realiza la determinación de la densidad de acuerdo a la norma UNE 772-13. Se declara la densidad aparente a partir de la masa por unidad de volumen aparente de las probetas de cada muestra una vez secas. La densidad real se calcula mediante la diferencia de gramaje entre un recipiente con alcohol y uno con una fracción de las muestras triturada y alcohol, ambos nivelados al mismo punto de referencia en el recipiente. Mediante el conocimiento de la densidad real y la densidad aparente, se calcula la porosidad de cada muestra expresada en porcentaje.

## 7.3 Envejecimiento

### 7.3.1 Ensayo de humedad/secado

Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento descrito en la UNE 41410:2008. Tiene como objetivo verificar si tras seis ciclos de inmersión en agua el bloque presenta

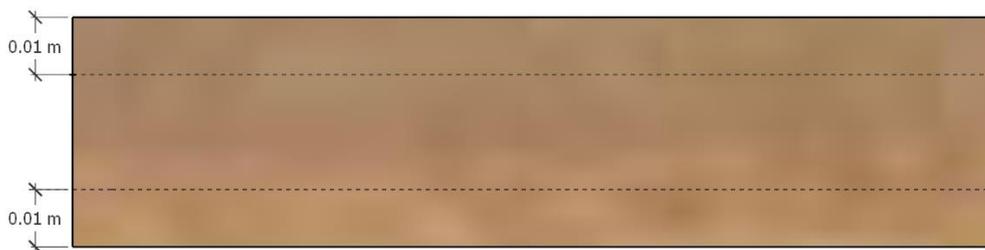
agrietamientos, hinchamiento, pérdida de capas o fragmentos, y eflorescencias. El ensayo consiste en colocar la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de una bandeja, sobre unos apoyos como se muestra en la imagen 14, en donde se vierte agua hasta sumergir la probeta 10mm. Se deja sumergida durante 30 segundos y luego se deja secar al aire hasta igualar el color de un bloque sin ensayar que funcione como referencia. Como se pretende conocer la resistencia mecánica de las probetas envejecidas, se realizó el ensayo sobre la cara de apoyo para así tener una afectación en toda la superficie del bloque.

Este ciclo de inmersión/secado/observación se repite 6 veces y pasando el sexto ciclo se deja secar completamente y se observa. Se realizaron los 6 ciclos en dos caras paralelas del bloque como lo muestra la imagen 15, por lo que se realizaron 12 ciclos en total. Además, se lleva un control de las variaciones de peso durante los distintos ciclos. Las probetas se mantuvieron durante el ensayo y durante su secado a una temperatura ambiente de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $50\pm 5\%$ . Se ensayaron 3 probetas por muestra.



Imagen 14. Ensayo de humectación/secado. Fuente: Elaboración propia.

Cara de apoyo (a)



Cara de apoyo (b)

Imagen 15. Esquema de caras de apoyo de la probeta. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.2 Ensayo de corrosión salina

Este ensayo se realiza para evaluar la acción negativa de los sulfatos en los bloques de tierra. Se realiza siguiendo la metodología del ensayo de humedad/secado, con la excepción de que se agrega sulfato de sodio al agua. El sulfato de sodio es una sal que cambia mucho su volumen (400 veces) en función de que se halle en estado deshidratado (thenardita, sulfato sódico) o hidratado (mirabilita, Sulfato sódico decahidratado). Esta sal es la que se utiliza para

el ensayo de envejecimiento artificial acelerado por cristalización de sales en rocas, según la norma UNE-EN 12370:2020. Se coloca la cara de apoyo del bloque sobre una malla dentro de un recipiente, como se muestra en la imagen 16, donde se vierte agua adicionada con sulfato sódico hasta sumergir la probeta 10mm. Se deja sumergida durante 30 segundos y luego se deja secar al aire hasta igualar el color de un bloque sin ensayar que funcione como referencia. Este ciclo de inmersión/ secado/ observación se repite 6 veces por cara y pasando el sexto ciclo se deja secar completamente y se observa. Se utiliza la cara superior e inferior de la probeta para obtener una mayor superficie de exposición ante los sulfatos con la intención de generar un envejecimiento más crítico. Se busca tener un mayor impacto de envejecimiento para probar su resistencia mecánica ante condiciones críticas.

Se lleva un control de las variaciones de peso durante los distintos ciclos. Además, se tiene en cuenta si se forman eflorescencias fuera de las probetas o dentro, generando, en este segundo caso, alteraciones mecánicas visibles. El hecho que las sales varíen de volumen en función de la humedad, comporta que se generen tensiones mecánicas en el material envejecido cuando las transformaciones se producen en el seno del material. Esta presión mecánica interna es la que diferencia los dos ensayos de envejecimiento por humedad/sequedad realizado. Las probetas se mantuvieron durante el ensayo y durante su secado a una temperatura ambiente de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $50\pm 5\%$ . Se ensayaron 3 probetas por muestra.

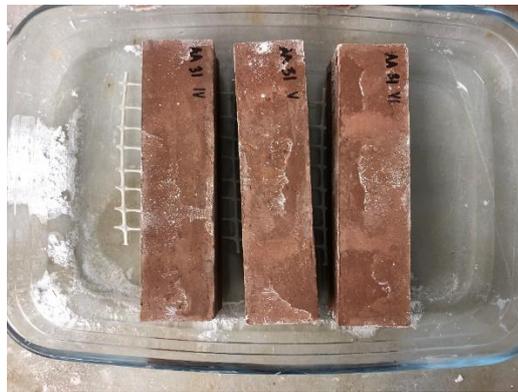


Imagen 16. Ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.3 Ensayo de hielo-deshielo

La normativa de BTC menciona que no hay disponible una norma europea adecuada para este ensayo, por lo que la resistencia al hielo/deshielo se evalúa y se declara mediante la experiencia previa de la utilización del bloque. Para obtener información del bloque de tierra sometido a condiciones de hielo-deshielo, se siguió la siguiente metodología:

Las muestras se congelaron a  $-17\pm 1^{\circ}\text{C}$  en dos periodos de 3 horas cada uno, con un intervalo de secado a temperatura ambiente de 1 hora. Al término del 2do periodo se dejaron secar en un ambiente con una temperatura de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  hasta transcurrir 24 horas desde el inicio del ciclo. Antes de congelar las probetas en el primer periodo, se coloca la cara de apoyo del bloque dentro de una bandeja sobre una malla de apoyo, sumergida en agua 10mm durante 30 segundos. En el segundo periodo se repite el procedimiento, pero con la cara inversa respecto a la que se había sumergido. Se repite el ciclo 12 veces.

El hecho que se produzca una congelación en el seno del material comporta unas presiones mecánicas tridimensionales internas, que pueden llegar a afectar a la cohesión del material, e incluso a su rotura, y consecuentemente, a una reducción de su capacidad portante. Cada periodo y a la salida del congelador tras el segundo periodo se lleva un control del peso de cada probeta. En total se han ensayado 3 probetas por muestra.

### 7.3.4 Control de envejecimiento

Se realizó el procedimiento descrito en la norma UNE 772-1:2011, conforme lo indica la norma de BTC UNE 41410:2008, para conocer la resistencia a compresión y flexión de las probetas una vez envejecidas. Se utilizó la prensa Wykeham Farrance de 5000 kg y una velocidad de aplicación de carga de 1000mm/min, dentro del Laboratorio de Materiales de la EPSEP. Se obtiene una resistencia media o resistencia promedio con la media aritmética de los valores obtenidos de los ensayos.

Para el ensayo de la resistencia a flexión se utilizó la misma prensa con un elemento que permite la aplicación de la carga en tres puntos de la probeta. La probeta se coloca sobre dos puntos de apoyo y se somete a carga en un punto central.

## 7.4 Comportamiento frente al agua

### 7.4.1 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

Este ensayo se realiza siguiendo la norma UNE-EN 772-11:2011. Para el periodo de inmersión se toma como referencia el punto 5.3.8 de la norma EN 771-1 el cual indica que son  $60 \pm 5$  segundos para arcilla cocida.

El ensayo consiste en sumergir una cara de la probeta por un periodo de 60 segundos. Primero se midieron las dimensiones de las caras a sumergir como lo indica la norma EN 772-16 y se calcula la superficie buta ( $A_s$ ). Se colocan las caras de apoyo sobre una malla de soporte de manera que no toquen el fondo de la bandeja y se sumergen hasta una profundidad de  $5 \pm 1$ mm durante un periodo de 60 segundos, de acuerdo a la norma EN 771-1. Durante este periodo de tiempo se mantiene el nivel de agua constante. Al terminar el tiempo de inmersión ( $t_{so}$ ), se sacan las probetas del agua y se pesan ( $m_{so,s}$ ).

### 7.4.2 Ensayo de permeabilidad al vapor de agua

Se realizó este ensayo siguiendo la normativa UNE-EN ISO 12572, el cual se realiza para determinar la permeabilidad del material del bloque. Se ensayaron 6 probetas de cada muestra con dimensiones de 4x4 cm y 2 cm de espesor. En recipientes cúbicos se colocaron las probetas a 20mm de distancia de la solución acuosa, sellando las aberturas restantes, como se muestra en la imagen 17. De cada muestra, tres probetas se ensayaron con agua, denominado copa húmeda, y los tres restantes con gel de sílice, denominado copa seca. Los recipientes se mantuvieron en un ambiente con temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  y HR de  $50 \pm 5\%$ . Se pesaron a intervalos de 24 horas.



**Imagen 17.** Ensayo de permeabilidad al vapor de agua. Fuente: Elaboración propia.

### 7.4.3 Erosión acelerada Swinburne (SAET)

Este ensayo se realiza siguiendo la normativa UNE 41410: 2008, el cual evalúa la resistencia a la erosión de un bloque de tierra cuando es sometido a la acción directa y constante del agua. Se deja caer sobre una cara de la muestra, colocada a 27° respecto a la horizontal, una corriente continua de agua desde 1.5m de altura durante 10 minutos. Posteriormente, se mide la profundidad de la oquedad para determinar si es apto o no apto.

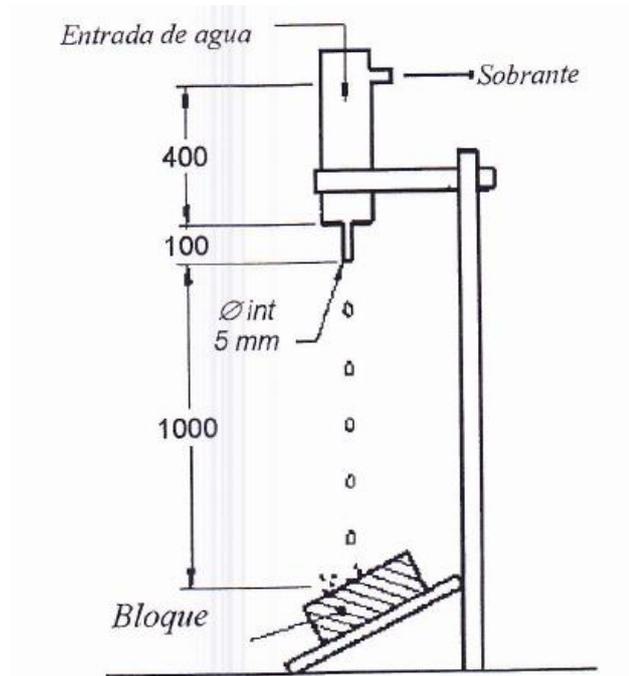
Las muestras se dejaron curar durante 28 días antes de ensayarlas. Sus dimensiones eran de 10x10x2 cm y su composición se describe en la tabla siguiente.

**Tabla 8.** Composición de las muestras para ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET). Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Humectación	% de humectación	Material	Proporción	Simbología	No. de probetas
Muestra 1	Agua	25%	Arcilla + árido fino	3:1	A 3:1	3
Muestra 2	Agua	25%	Arcilla + árido fino	2:1	A 2:1	3
Muestra 3	Almidón de arroz	25%	Arcilla + árido fino	3:1	AA 3:1	3
Muestra 4	Almidón de arroz	25%	Arcilla + árido fino	2:1	AA 2:1	3



**Imagen 19.** Instrumental para ensayo de erosión acelerada Swinburne. Fuente: Elaboración propia.



**Imagen 18.** Esquema de ensayo informativo. Fuente: UNE 41410: 2008

## 8 Resultados de los ensayos e interpretaciones

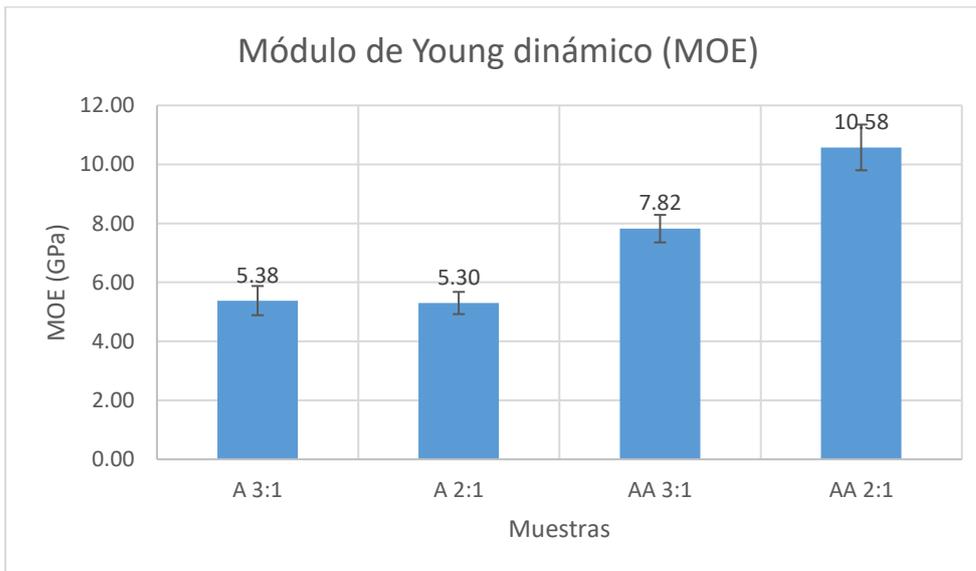
### 8.1 Estado endurecido

#### 8.1.1 Módulo de Young dinámico MOE

Los resultados, como se muestran en el siguiente gráfico, muestran un incremento considerable del MOE en las muestras que tienen incorporado el GOV, destacando entre estas la que contiene una relación de arcilla-árido de 2:1, es decir, la de menor contenido arcilloso. Para la misma relación, pero en probetas elaboradas con agua se obtuvo el resultado más bajo, de 5.30 GPa en promedio, lo que indica que tiende a superar su límite de deformación frente a una tensión con mayor facilidad en comparación al resto. La mejora entre el resultado más bajo y el más alto, que resultan tener la misma relación de arcilla-árido, es de un 206%, poco más del doble.

**Tabla 9.** Resultados del Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia

Muestra	MOE (GPa)	Desviación media
A 3:1	5.38	0.50
A 2:1	5.30	0.38
AA 3:1	7.822	0.47
AA 2:1	10.58	0.78



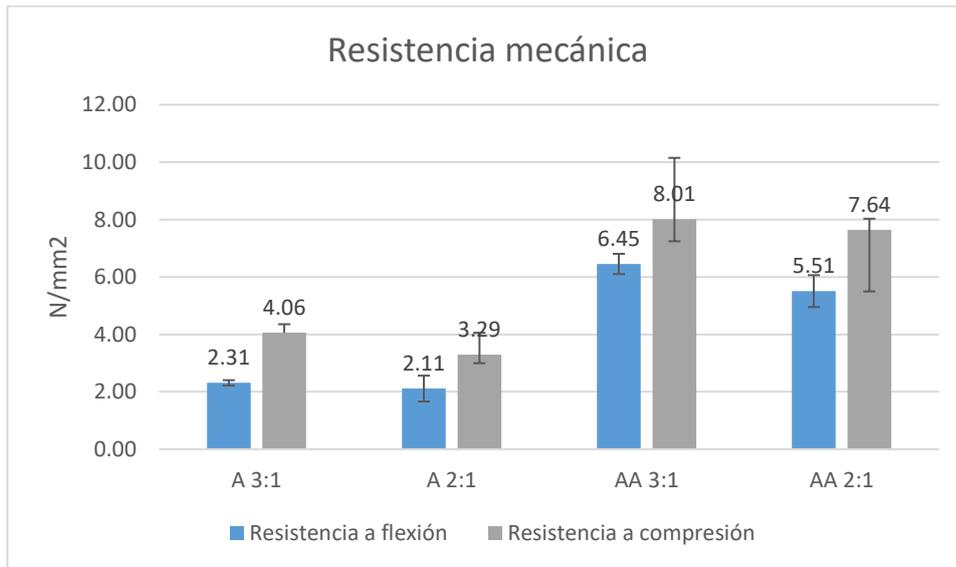
**Gráfico 1.** Módulo de Young dinámico. Fuente: Elaboración propia.

#### 8.1.2 Ensayo de compresión y flexión

El bloque de tierra adicionado con GOV (Muestra AA 3:1 y AA 2:1) mostró resultados más elevados tanto a flexión como a compresión, superando los MPa solicitados por normativa para BTC en cuanto a resistencia a compresión. La muestra con los resultados más elevados fue la AA 3:1, precisamente la que tiene mayor contenido de arcilla. Es relevante resaltar esta relación ya que un mayor contenido arcilloso hace sus partículas más cohesivas y, por tanto, la probeta tiene menor porosidad lo cual la hace más resistente. Esta muestra en relación a la que ha sido elaborada con agua casi duplica su resistencia.

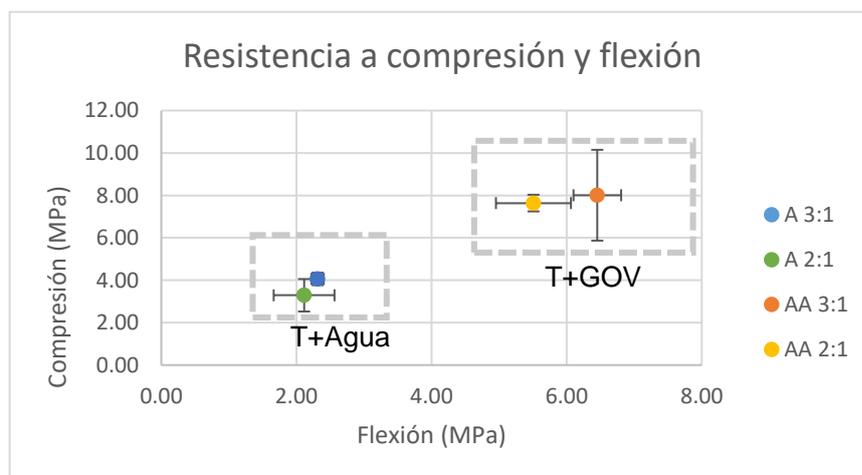
**Tabla 10.** Resistencias a compresión y flexión. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Resistencia a flexión (n/mm2)	Desviación media	Resistencia a compresión (n/mm2)	Desviación media
A 3:1	2.31	0.09	4.06	0.29
A 2:1	2.11	0.45	3.29	0.77
AA 3:1	6.45	0.35	8.01	2.14
AA 2:1	5.51	0.56	7.64	0.39



**Gráfico 2.** Resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.

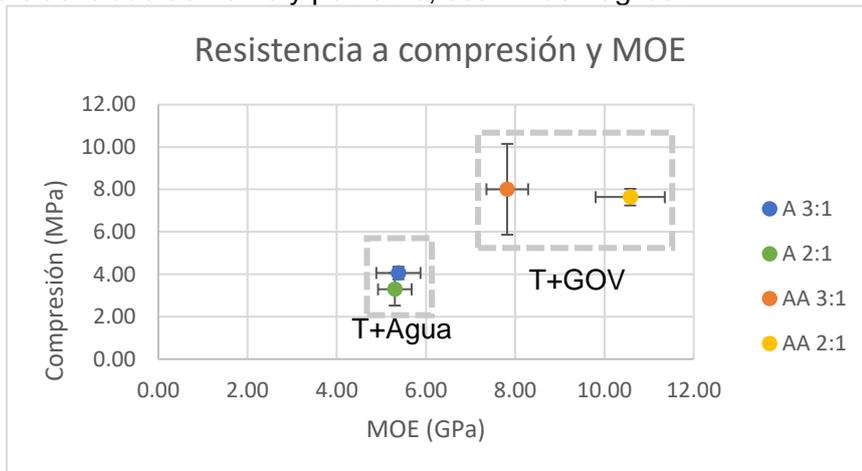
Los valores de compresión y flexión indican claramente que con GOV las resistencias mecánicas aumentan. Tanto a flexión como a compresión el resultado más elevado fue el de la muestra AA 3:1, las cuales son probetas elaboradas con GOV y una dosificación con mayor contenido en arcilla. Por lo tanto, también aumentan su resistencia mecánica a mayor proporción de arcilla.



**Gráfico 3.** Resultados de ensayo de resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.

Si observamos los resultados de la resistencia a compresión y el módulo de Young, se puede observar como en general aumenta la resistencia a compresión a medida que aumenta el MOE. Es notable la diferencia entre las probetas de tierra con agua y las de tierra con GOV,

donde se confirma que hay una mejora en la resistencia de la tierra agregando GOV aunque su módulo de elasticidad aumente y por tanto, sean más frágiles.



**Gráfico 4.** Resistencia a compresión y Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.

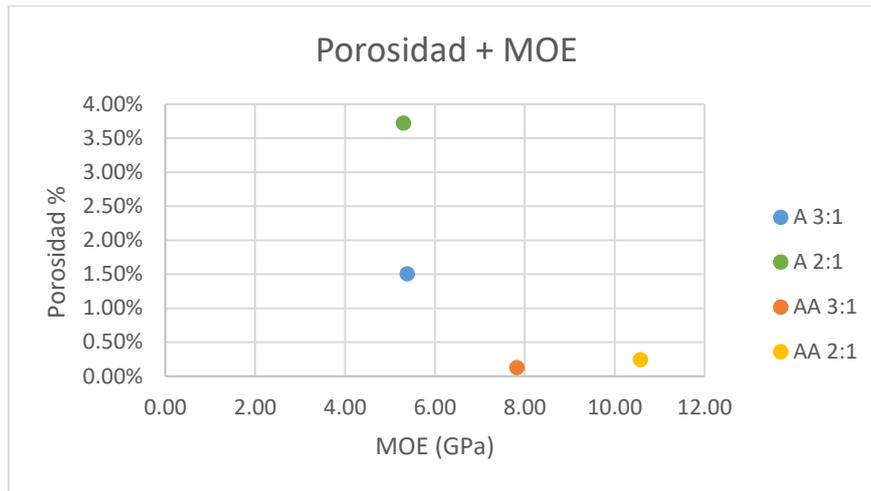
### 8.1.3 Porosidad y densidades

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de densidad y el cálculo de la porosidad. Hay un cambio notorio en porosidades dependiendo si las probetas han sido elaboradas con agua o con GOV, destacando como la muestra con mayor porosidad la A 2:1 las cuales corresponden a probetas elaboradas con agua y un mayor contenido de árido fino. La muestra AA 3:1 es la de menor porosidad, correspondiendo a las probetas elaboradas con GOV y un mayor contenido de arcilla. Por lo que podemos deducir que el contenido arcilloso tiene una influencia en la porosidad de la probeta y que la adición del almidón, en este caso mediante el GOV, ayuda a reducir la porosidad lo que se traduce a un mejor comportamiento mecánico y físico.

**Tabla 11.** Porosidades y densidades. Fuente: Elaboración propia.

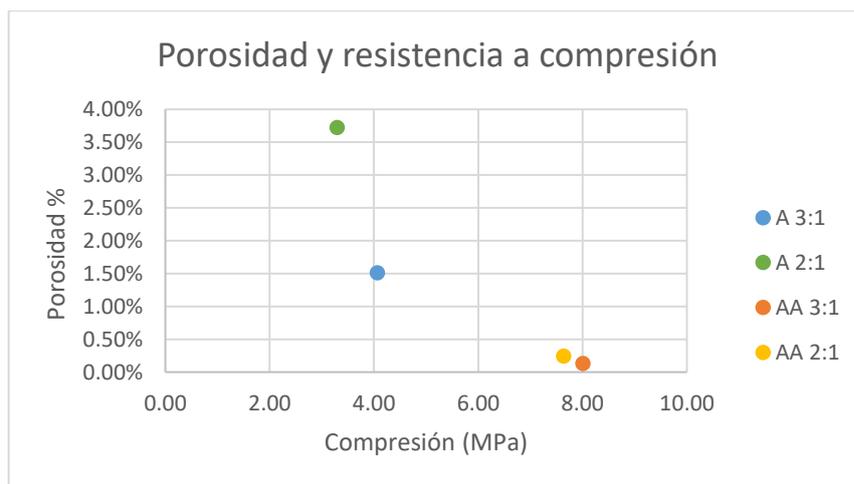
	A 3:1	A 2:1	AA 3:1	AA 2:1
Densidad real g/ml	2.06	2.13	2.05	2.08
Densidad aparente g/ml	2.03	2.05	2.05	2.07
Compacidad	0.985	0.963	0.999	0.998
Porosidad	1.51%	3.72%	0.13%	0.24%

Se realiza la comparativa del MOE con la porosidad con la premisa de que, a mayor porosidad, menor Módulo de Elasticidad. Se comprueba que las probetas con GOV las cuales tienen un porcentaje de porosidad más bajo son las que tienen un mayor módulo de elasticidad, mientras que las probetas de tierra con agua las cuales son más porosas, tienen un MOE menor.



**Gráfico 5.** Porosidad y Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se puede apreciar la relación de la porosidad de las muestras con la resistencia a compresión. Se comprueba que, a mayor porosidad, menor resistencia a compresión. La reducción de la porosidad es posible gracias al aumento de la acción cohesiva de las partículas de arcilla con la incorporación de almidón a la mezcla.



**Gráfico 6.** Porosidad y resistencia a compresión. Fuente: Elaboración propia.

## 8.2 Envejecimiento

### 8.2.1 Ensayo de humedad/secado

Transcurridos los 12 ciclos de humedad/secado, se observa en las muestras A 3:1 y A 2:1 pérdida general de las capas y picado local. En las muestras donde se incorporó el GOV no hubo un impacto significativo en las caras sometidas al ensayo. Se verifica que en las probetas con GOV no se observan los efectos severos expuestos en la normativa de BTC tras la exposición a los ciclos de humedad/secado. El estado de las probetas tras los 12 ciclos se muestra en la imagen 20.

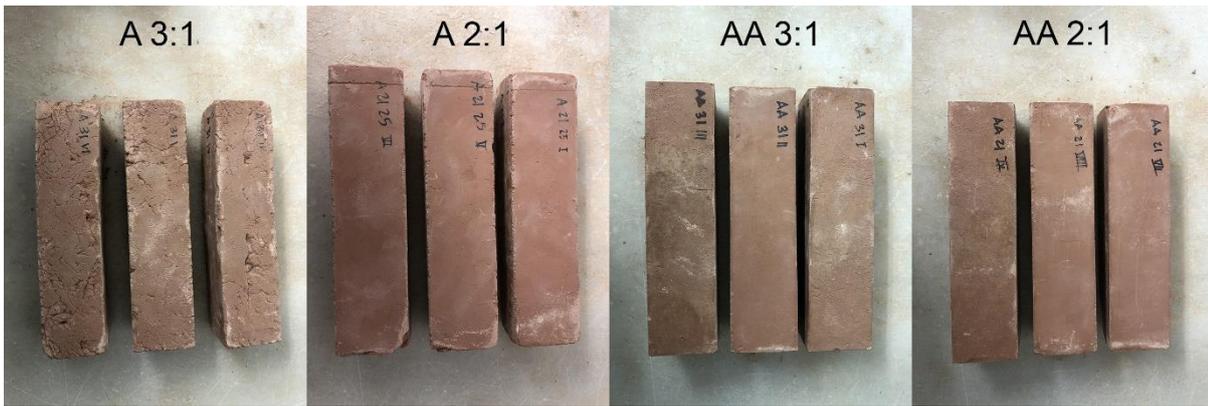


Imagen 20. Probetas expuestas a 12 ciclos de humedad/secado. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se puede observar la variación de los pesos de cada muestra antes y después de cada ciclo, comenzando desde el peso inicial, para así poder observar las pérdidas de masa durante el ensayo. Se observa que la muestra A 2:1 es la que ha perdido mayor masa, que se atribuye a su composición menos arcillosa y para la humectación solo se ha utilizado agua. Las muestras AA 3:1 y AA 2:1 en las que se ha incorporado el GOV muestran resultados muy similares; al inicio la variación de peso es muy pequeña por lo que, junto a las observaciones visuales, se deduce que presentan una resistencia al paso del agua al momento de humedecer. La muestra A 3:1 tiene un aumento de masa importante al inicio, que se presenta por la poca resistencia que tiene a la entrada del agua al momento de humedecer. Además, al inicio entre ciclos no llega a disminuir su masa por debajo de su peso inicial porque no alcanza a liberar la humedad adquirida al humedecer.

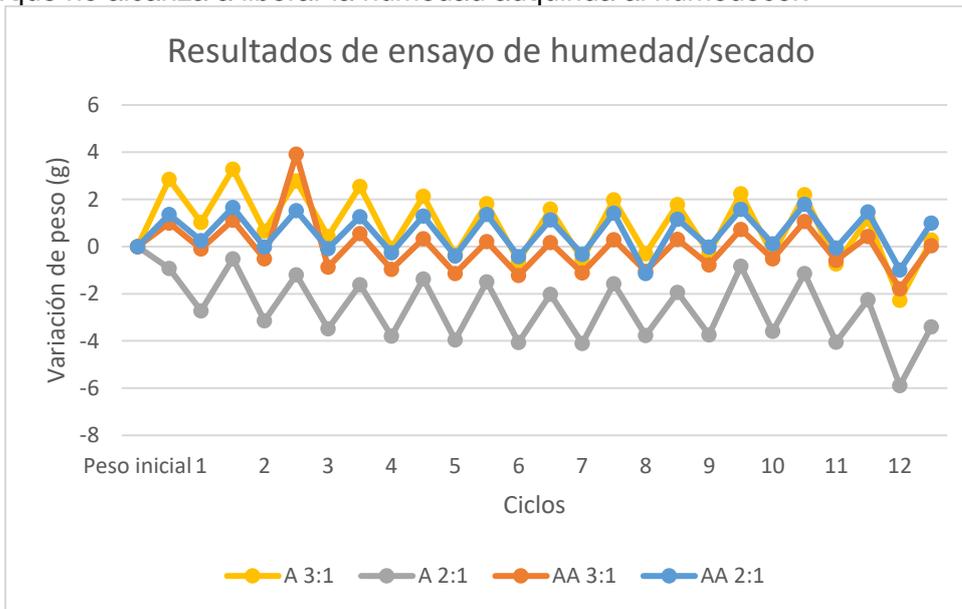


Gráfico 7. Variación de peso antes y después de cada ciclo de humedad/secado por muestra. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la variación final de masa por muestra en porcentaje. Aunque todas las muestras han perdido masa por la desintegración de las capas de tierra durante la inmersión, la muestra con mayor pérdida es la A 2:1, lo cual corrobora el comportamiento observado en el gráfico anterior de variación de peso por ciclo.

Tabla 12. Variación final de masa por muestra después de ensayo de humedad/secado. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	A 3:1	A 2:1	AA 3:1	AA 2:1
Variación final de masa	-0.81	-1.30	-0.59	-0.38

### 8.2.2 Ensayo de corrosión salina

Transcurridos los 12 ciclos del ensayo de corrosión salina, se observa en todas las muestras pérdida general de las capas, eflorescencias en la superficie, hinchamiento y picado local, como se muestra en la imagen 21. Al inicio, en las muestras donde se incorporó el GOV (AA 3:1 y AA 2:1) visualmente mostraron cierta resistencia a verse afectados severamente por las sales, hasta pasados seis ciclos. Posteriormente, el deterioro fue muy severo.

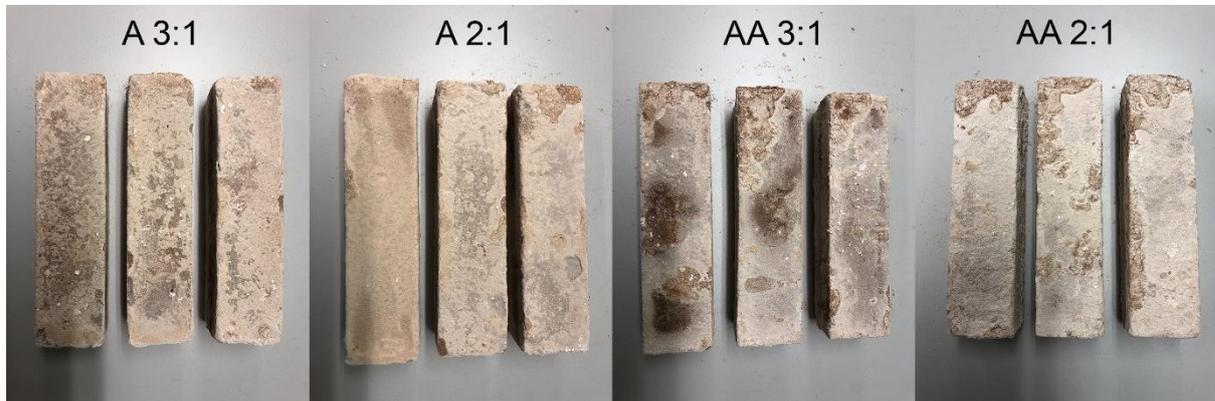


Imagen 21. Probetas expuestas a 12 ciclos de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica, mediante el registro de variación de pesos antes y después de cada ciclo, se puede observar como las muestras tienen un comportamiento similar. Aunque todas las probetas se observaban con un deterioro severo, no hubo pérdidas importantes que les impidiera posteriormente ser ensayadas para conocer su resistencia a compresión y flexión.

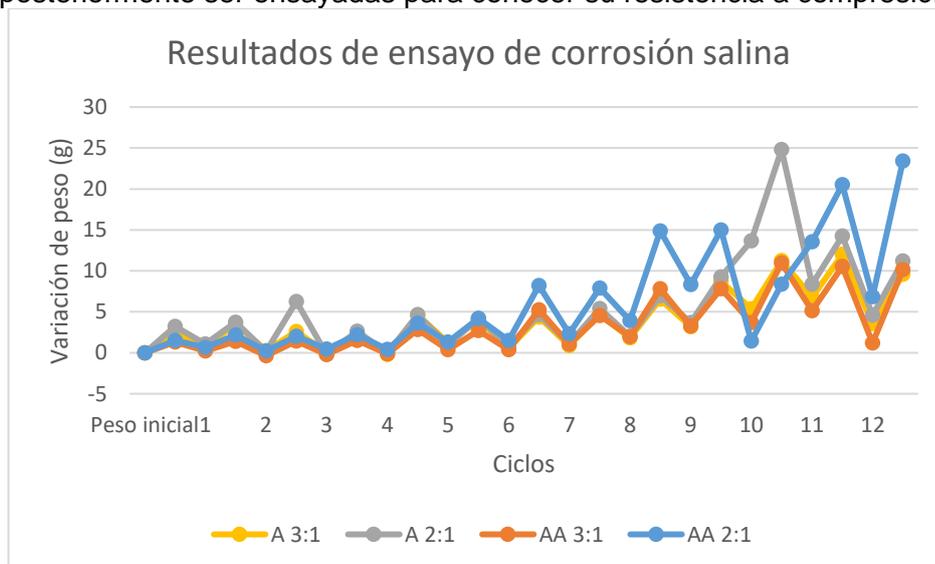


Gráfico 8. Variación de peso antes y después de cada ciclo de corrosión salina por muestra. Fuente: Elaboración propia.

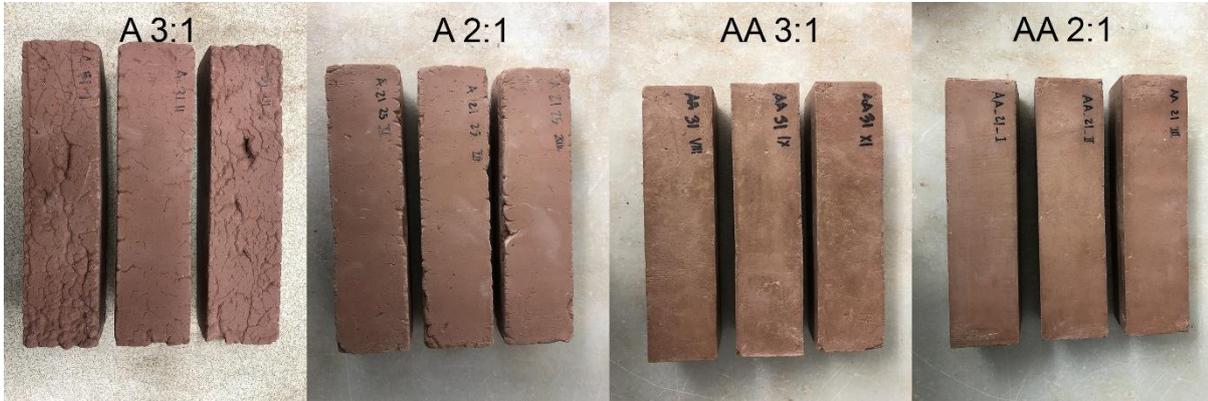
En la siguiente tabla se muestra la variación final de masa por muestra en porcentaje. En las probetas elaboradas con agua se observa un incremento en su masa que se debe a la sal retenida en la red porosa del material. La pérdida de masa en la muestra AA 2:1 no es significativa mientras que la pérdida es mayor en la muestra AA 3:1 la cual se atribuye a la desintegración de las capas de tierra de las probetas durante el ensayo.

Tabla 13. Variación final de masa después de ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	A 3:1	A 2:1	AA 3:1	AA 2:1
Variación final de masa	0.31	0.21	-0.87	-0.10

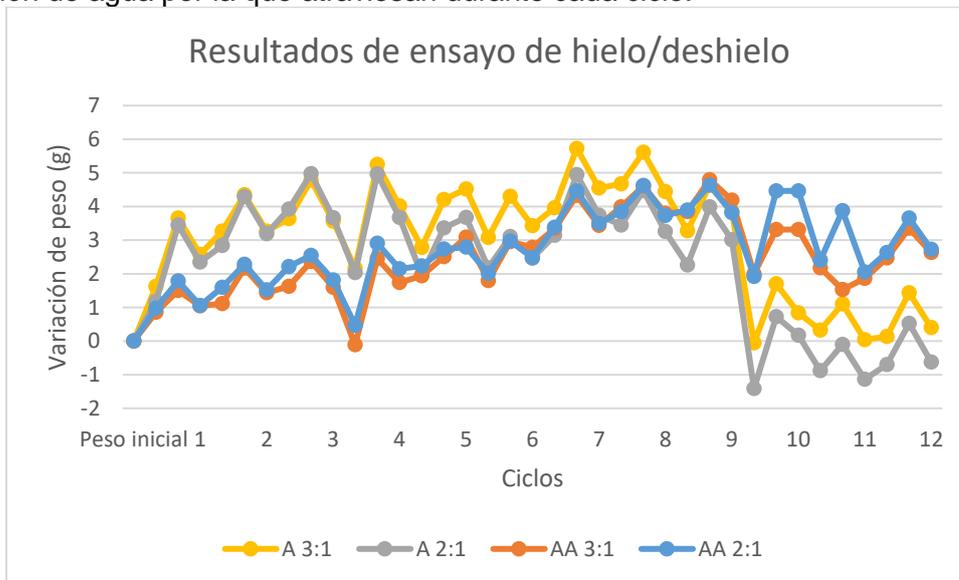
### 8.2.3 Ensayo de hielo/deshielo

Al transcurrir los 12 ciclos, se observó que las muestras 1 y 2 se vieron afectadas mostrando pérdida general de masa y picado local. Los bloques donde se incorporó el GOV mostraron visualmente tener mayor resistencia a los efectos de envejecimiento por hielo/deshielo. Las probetas tras ser ensayadas se muestran en la imagen 22.



**Imagen 22.** Probetas expuestas a 12 ciclos de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al registro de variación de peso, hubo un incremento significativo en las probetas de la muestra 1 y 2 en relación con las de las muestras 3 y 4, lo cual muestra una resistencia a los efectos de hielo/deshielo en la etapa inicial en las probetas donde se ha incorporado el GOV. Aunque en estas muestras 3 y 4, las probetas paulatinamente incrementan su peso, sucede con bastante regularidad. Mientras que en las muestras 1 y 2, la afectación inicial se muestra más severa, hasta el ciclo 9 donde hay una baja en la variación considerable que se le atribuye al paso del fin de semana y, por tanto, una interrupción entre ciclos. Al final la muestra 1 y 2 tienen un peso similar al peso inicial, sin embargo, se debe a la pérdida de capas de tierra, de otra manera su peso sería superior ya que deberían ganar peso al humedecerse. Las muestras 3 y 4 muestran un peso superior al peso inicial que se le atribuye a la succión de agua por la que atraviesan durante cada ciclo.



**Gráfico 9.** Variación de peso antes y después de cada ciclo de hielo/deshielo por muestra. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la variación final de masa por muestra en porcentaje. Todas las muestras indican una pérdida en masa que se justifica en la pérdida general de capas de tierra durante el humedecimiento de la probeta previo al congelamiento. Como se observaba en la gráfica anterior, la muestra A 2:1 es la que presenta mayor porcentaje de pérdida y que se atribuye a su menor contenido de arcilla. El comportamiento que observamos en la gráfica muy similar entre las muestras AA 3:1 y AA 2:1 queda corroborado con su porcentaje de pérdida ya que también resulta muy similar. A diferencia de las probetas elaboradas con agua, las que contienen GOV han tenido un menor porcentaje de pérdida de masa tras este ensayo.

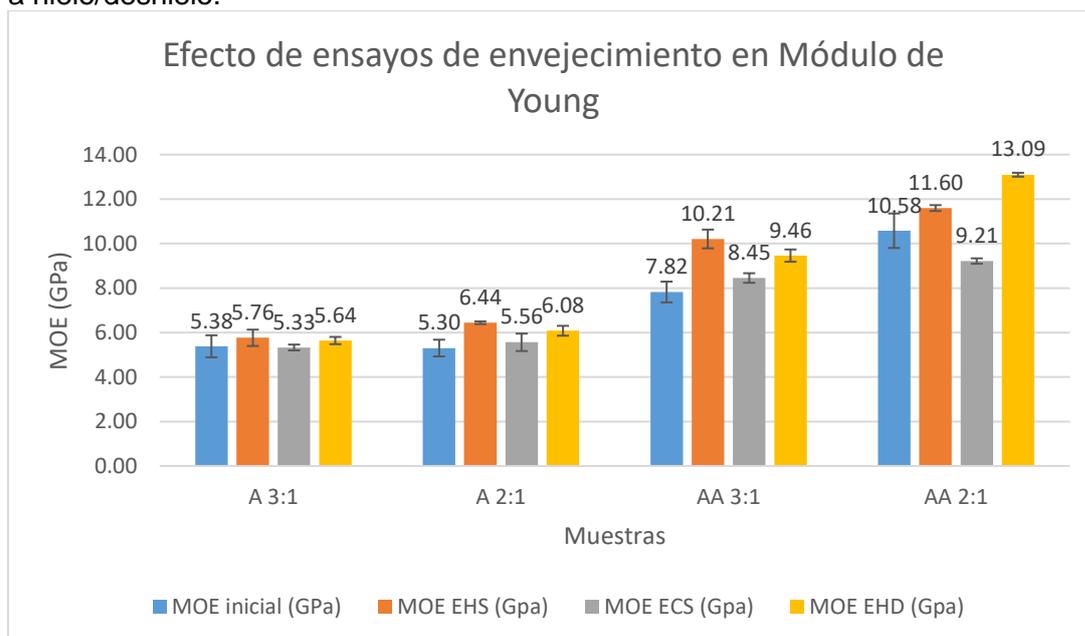
**Tabla 14.** Variación final de masa después de ensayo de corrosión salina. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	A 3:1	A 2:1	AA 3:1	AA 2:1
Variación final de masa	-1.72	-1.86	-0.38	-0.33

## 8.2.4 Control de envejecimiento

### 8.2.4.1 Efecto de ensayos de envejecimiento en el Módulo de Young

Se realiza una comparativa entre el módulo de Young de las probetas ensayadas a humedad/secado (EHS), a corrosión salina (ECS) y hielo deshielo (EHD) y los datos que se tenían inicialmente. Se han tenido diferentes variaciones dependiendo del ensayo realizado, en todos los casos de un aumento en el módulo de Young aunque no ha sido significativo. El aumento más destacable por su variación con el MOE inicial fue en las probetas ensayadas a hielo/deshielo.

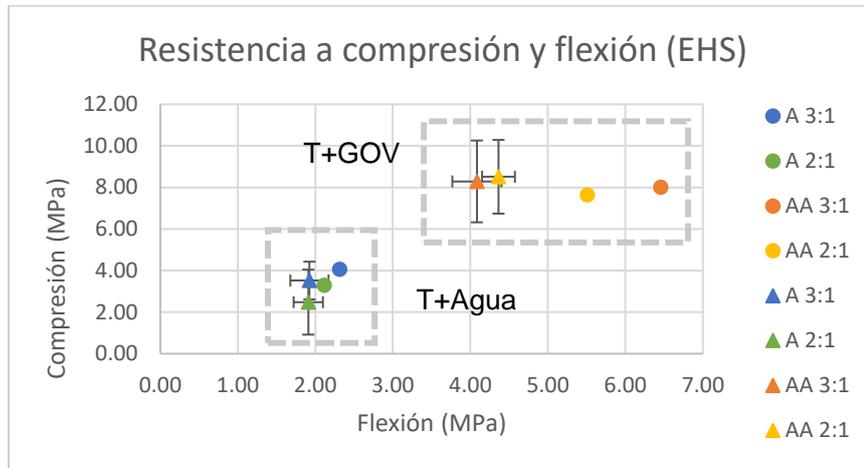


**Gráfico 10.** Efecto de ensayos en Módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.

### 8.2.4.2 Efecto de humedad/secado en resistencia mecánica

Las probetas previamente ensayadas a humedad/secado mostraron una reducción en su resistencia a flexión y solo en las que se elaboraron con agua se mostró una reducción en su resistencia a compresión. En cambio, las probetas elaboradas con GOV incrementaron su resistencia a compresión. Aunque estos resultados después de envejecer son más elevados que durante las pruebas de flexión-compresión iniciales, la diferencia no es significativa. Además, la desviación media muestra que los resultados entran dentro del rango de los datos

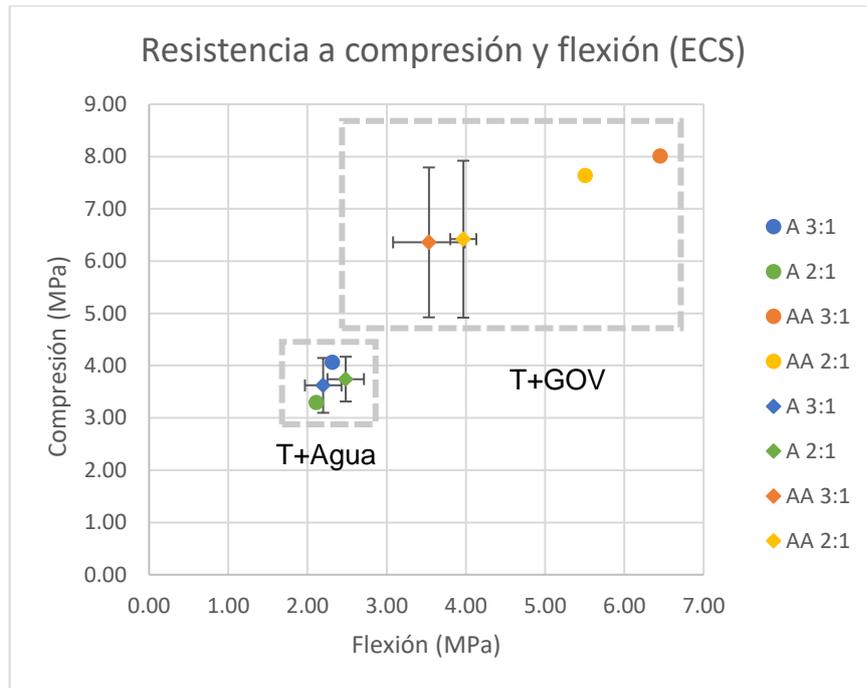
iniciales. Las variaciones en los resultados se muestran en el siguiente gráfico, indicando con forma circular los datos iniciales y con forma triangular los datos tras envejecimiento.



**Gráfico 11.** Efecto de ensayo de humedad/secado (EHS) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.

### 8.2.4.3 Efecto de corrosión salina en resistencia mecánica

Las probetas previamente ensayadas a corrosión salina mostraron una reducción en su resistencia a flexión y compresión, exceptuando la resistencia a compresión de la muestra A 2:1 aunque sin ser un incremento significativo. El efecto destructivo de las sales solubles se debe a la disolución y cristalización de las sales repetidamente, donde el sulfato de sodio se va transfiriendo al interior de la probeta mediante capilaridad y comienza a incrementar la porosidad por lo que su resistencia mecánica disminuye. Aunque la capacidad de resistencia a compresión de las probetas con GOV sigue siendo superior al de las probetas sin GOV, el porcentaje de reducción de la resistencia es mucho mayor. Aun así, los 6.36 y 6.42 MPa de las probetas con GOV siguen superando la exigencia de normativa y a las probetas elaboradas con agua, por lo que se puede comprobar la mejora del GOV incluso posteriormente al envejecimiento. Además, la desviación media de estas probetas envejecidas es muy amplia y alcanza los valores iniciales, por lo que la reducción en la resistencia mecánica no es muy significativa. Las variaciones en los resultados se muestran en el siguiente gráfico, indicando con forma circular los datos iniciales y con forma rombo los datos tras envejecimiento.



**Gráfico 12.** Efecto de ensayo de corrosión salina (ECS) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.

#### 8.2.4.4 Efecto de hielo/deshielo en resistencia mecánica

Las probetas previamente ensayadas a corrosión salina mostraron una reducción en su resistencia a flexión y compresión, exceptuando la resistencia a compresión de la muestra AA 2:1 la cual incrementó. Durante el proceso de hielo/deshielo, el agua que se filtra por capilaridad se cristaliza para luego disolverse lo cual genera porosidades que son la causante de la disminución de la resistencia. En el caso de las probetas con GOV, la fuerza cohesiva de sus partículas hace que su estructura sea más densa, por lo que tienen propiedades mecánicas mejoradas. Esta estructura densa dificulta la entrada de humedades y soluciones acuosas a su interior, lo que evita que se generen estas porosidades. Por ello, las probetas con GOV no se muestran tan afectadas e incluso la muestra AA 2:1 muestra una mejora en su resistencia a compresión comparada al dato que se tenía registrado. Las variaciones en los resultados se muestran en el siguiente gráfico, indicando con forma circular los datos iniciales y con forma cuadrada los datos tras envejecimiento.

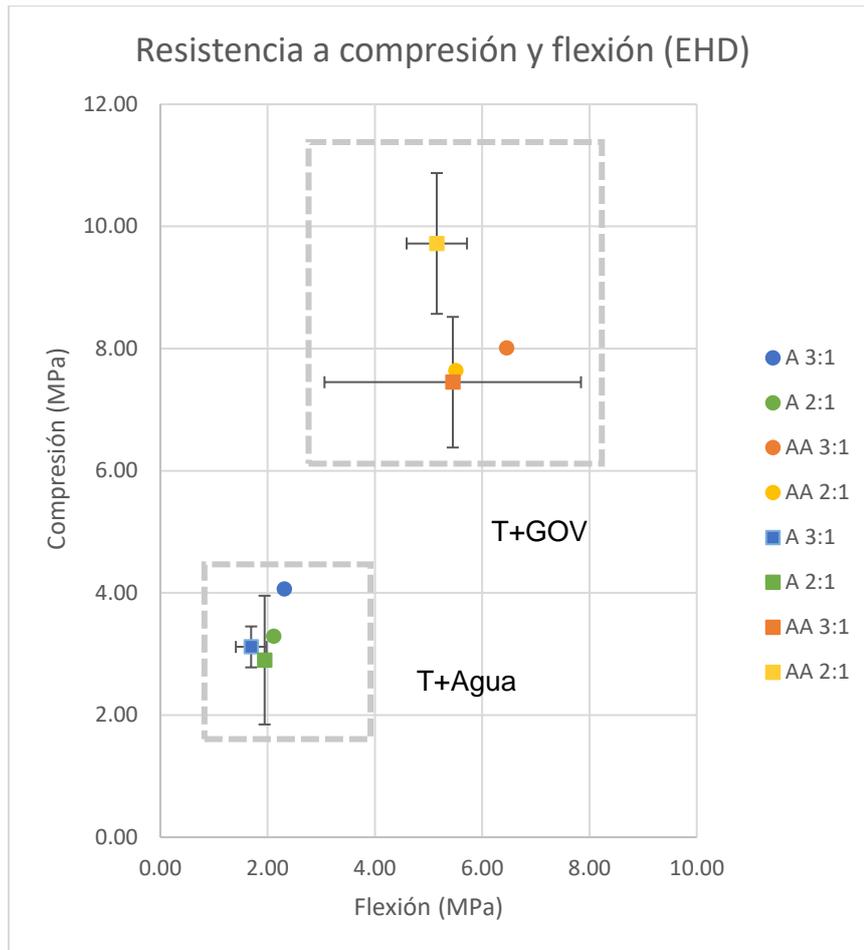


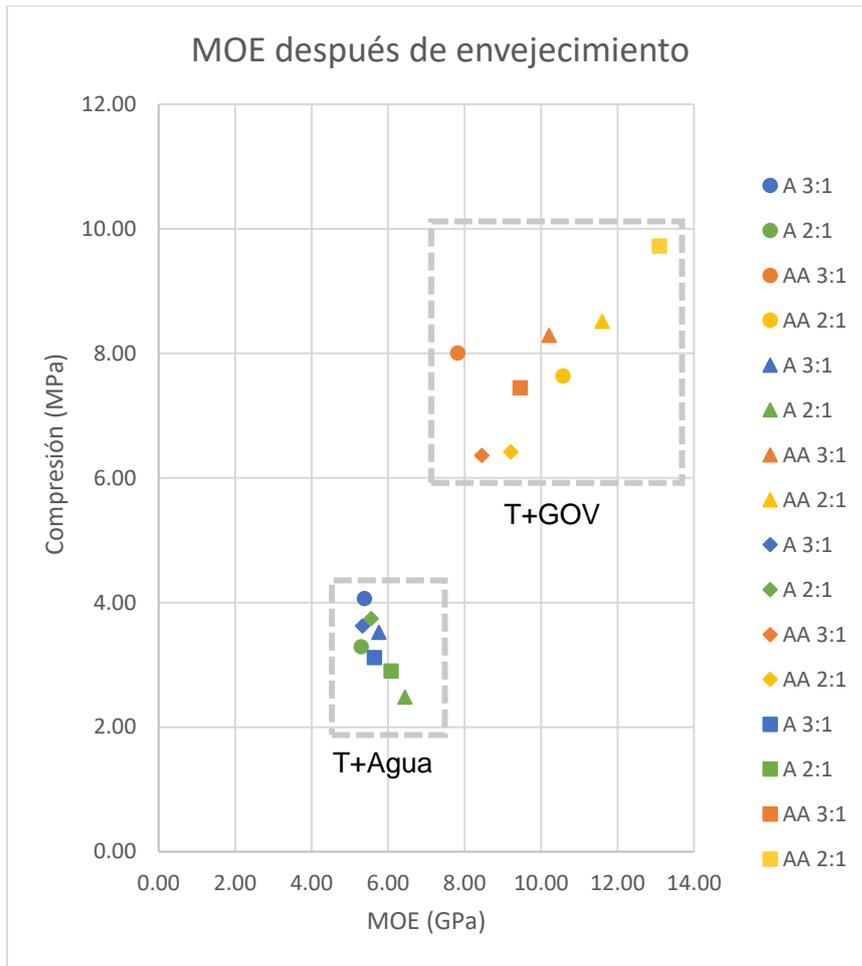
Gráfico 13. Efecto de hielo deshielo (EHD) en resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia.

### 8.2.4.5 Resumen comparativo de las modificaciones del MOE y la resistencia a compresión, antes y después del envejecimiento

Los ensayos de envejecimiento han afectado la estructura de las probetas, por lo que sus propiedades han sido modificadas de la siguiente manera. Se puede observar una notable mejora en las probetas elaboradas con GOV en contraparte con las de tierra y agua, por lo que se confirma la mejora que sugiere la introducción de almidón a la mezcla de tierra. En la mayoría de las probetas se muestra un incremento del MOE que no necesariamente se asocia a los resultados de resistencia a compresión. En ensayos como el de humedad/secado y hielo/deshielo se observa un incremento en la resistencia a compresión. Sin embargo, la desviación estándar es muy amplia por lo que podemos concluir que estos incrementos entran en el rango de los datos obtenidos antes de envejecer.

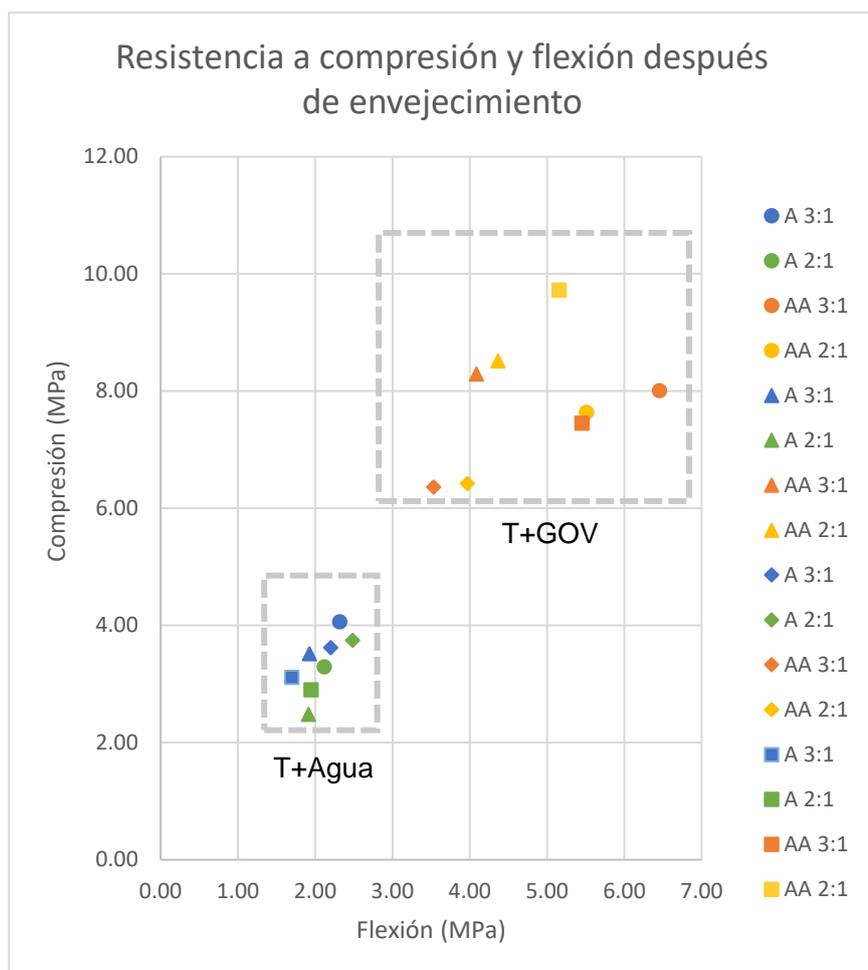
Tabla 15. Simbología. Fuente: Elaboración propia

Simbología	Ensayo
•	Estado previo a envejecimiento
▲	Humedad/secado (EHS)
◆	Corrosión salina (ECS)
■	Hielo/deshielo (EHD)



**Gráfico 14.** MOE después de envejecimiento. Fuente: Elaboración propia.

Comparando la resistencia a compresión con la resistencia a flexión observamos que las probetas de tierra con agua tienen un comportamiento similar, con una reducción a su resistencia mecánica no muy significativa después del envejecimiento. Las probetas de tierra con GOV logran tener un rango de resistencia mecánica superior al de las probetas con agua. Incluso después del envejecimiento, los valores resultantes siguen siendo superiores al de una probeta de tierra con agua.



**Gráfico 15.** Resistencia a compresión y flexión después de envejecimiento. Fuente: Elaboración propia.

### 8.3 Comportamiento frente al agua

#### 8.3.1 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

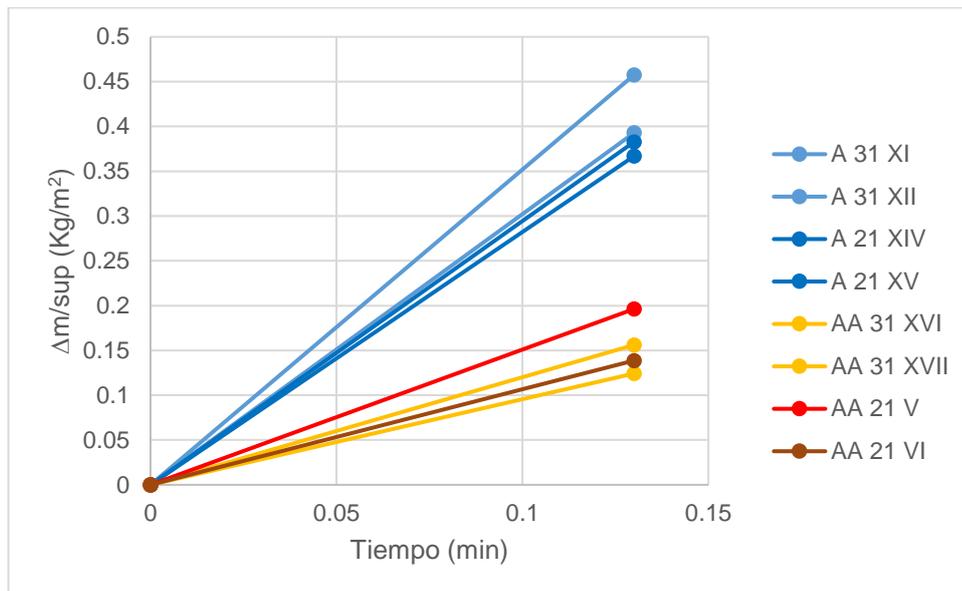
Se calculó las tasas de absorción de agua siguiendo el ensayo propuesto para piezas de arcilla cocida de acuerdo a la UNE 722-11, ya que es lo más cercano que se tiene por normativa a un BTC. Considerando 1 minuto de inmersión, de acuerdo a la UNE 771-1, se obtuvieron los resultados que se muestran en la siguiente tabla. Se observa una tasa menor en las probetas con GOV, lo que indica una resistencia al paso del agua por succión capilar.

**Tabla 16.** Resultados de ensayo de absorción por capilaridad. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Tasa inicial de absorción de agua ( $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{min}$ )	Desviación media
A 3:1	3.27	0.35
A 2:1	2.88	0.09
AA 3:1	1.08	0.17
AA 2:1	1.29	0.31

En el siguiente gráfico se ilustra cómo el incremento de masa por unidad de superficie es mayor en las probetas elaboradas con agua en relación a las probetas con GOV. Este

comportamiento se atribuye a que la estructura de las probetas con GOV son más densas por su mayor capacidad cohesiva entre partículas, lo que dificulta la entrada de agua al interior.



Nota: Los números romanos del lado derecho de la etiqueta de las muestras son utilizados como identificador de la probeta ensayada.

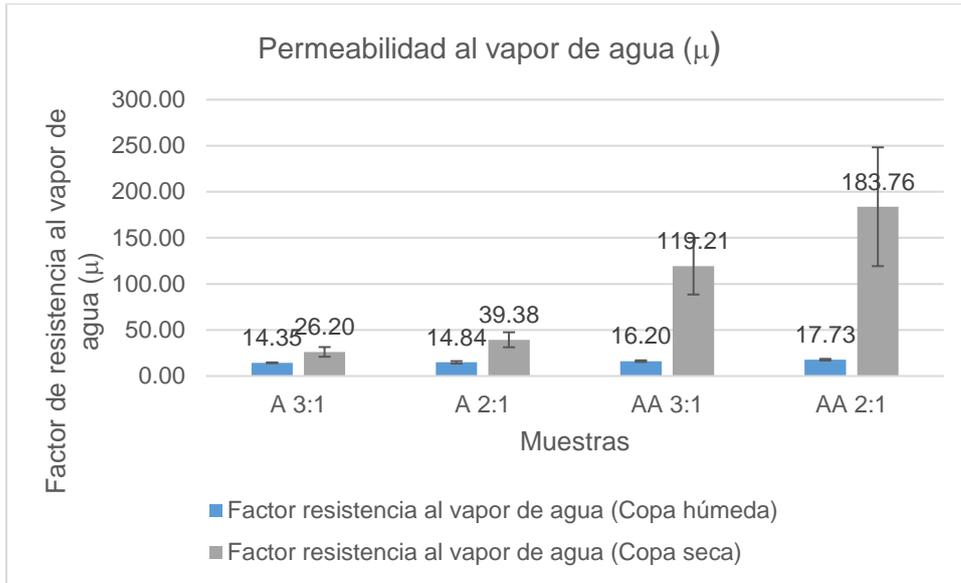
**Gráfico 16.** Incremento de masa por unidad de superficie, respecto al tiempo. Fuente: Elaboración propia.

### 8.3.2 Ensayo de permeabilidad al vapor de agua

Si bien la norma indica que se calculen otros parámetros (permeancia, permeabilidad, etc.) se consideró oportuno mostrar el coeficiente  $\mu$ . Este coeficiente indica la dificultad con la que el vapor de agua atraviesa un espesor determinado. Cuanto mayor es este coeficiente, más impermeable es el material al vapor de agua. Los resultados en este ensayo son muy similares entre las distintas muestras, por lo que no existen una alteración significativa en las propiedades higroscópicas de la tierra al modificarla con el GOV. Con excepción del ensayo a copa seca, donde el factor de resistencia al vapor de agua se eleva en las probetas con GOV. Cuando se trata del ensayo a copa húmeda los resultados al ser similares indican que cuando se trata de ceder agua al ambiente, la higroscopicidad del material le permite hacer este cambio sin oponer mucha resistencia. En cambio, cuando se trata del ensayo a copa seca, la probeta muestra resistencia a la penetración de humedad, es decir, le cuesta absorber la humedad contenida en el ambiente. Cabe señalar que la desviación estándar en los resultados de las probetas con GOV a copa seca es muy grande. Aun así, el dato menor sigue superando los datos de las probetas con agua por lo que podemos confirmar este cambio en las propiedades de las probetas con GOV.

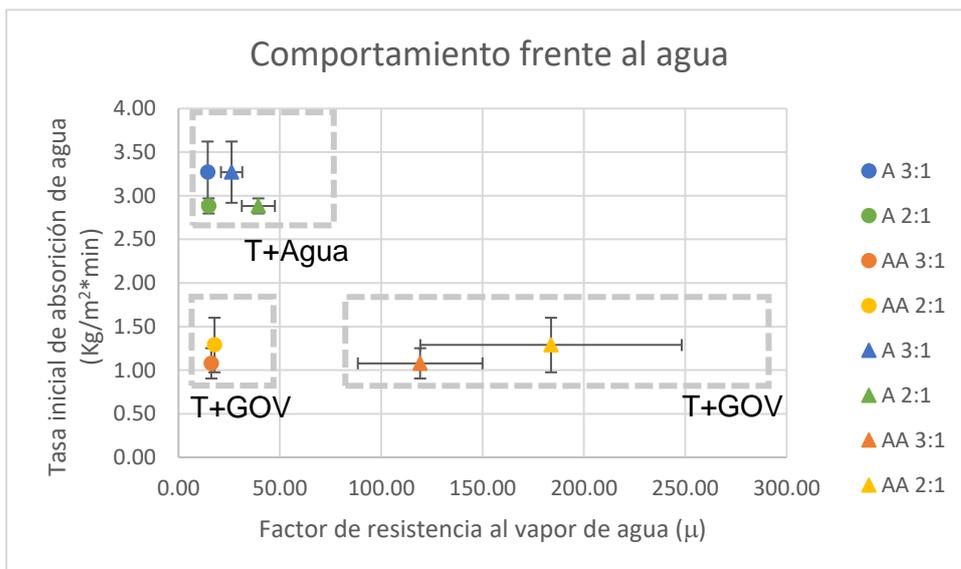
**Tabla 17.** Resultados de las medias del factor de resistencia al vapor de agua por muestra. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Factor resistencia al vapor de agua			
	(Copa húmeda)	Desviación media	(Copa seca)	Desviación media
A 3:1	14.35	0.41	26.20	5.26
A 2:1	14.84	1.34	39.38	8.16
AA 3:1	16.20	0.85	119.21	30.75
AA 2:1	17.73	0.90	183.76	64.48



**Gráfico 17.** Comparativo del factor de resistencia al vapor de agua entre muestras. Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 18 se muestra con un círculo las probetas ensayadas a copa húmeda y con un triángulo las probetas ensayadas a copa seca en el ensayo de permeabilidad al vapor de agua comparadas con la tasa inicial de absorción de agua. Se observa como las probetas con agua tienen un comportamiento similar en ambas pruebas de permeabilidad lo que indica poca resistencia al paso del vapor de agua, además de tener una alta tasa de absorción de agua. En las probetas con GOV, su tasa es baja en ambas pruebas de permeabilidad, sin embargo, en copa húmeda tiene un comportamiento similar al de la tierra con agua mientras que en la copa seca sus valores incrementan. Además de observarse un incremento importante en su  $\mu$ , también se observa una alta desviación estándar media. En el siguiente gráfico se ilustra los datos de permeabilidad, con forma circular la copa húmeda y con forma triangular la copa seca.



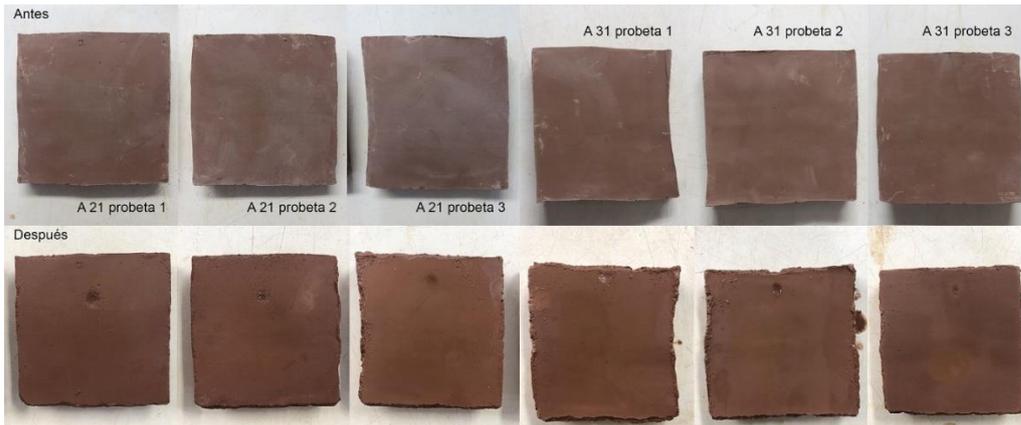
**Gráfico 18.** Comportamiento frente al agua. Fuente: Elaboración propia.

### 8.3.3 Erosión acelerada Swinburne (SAET)

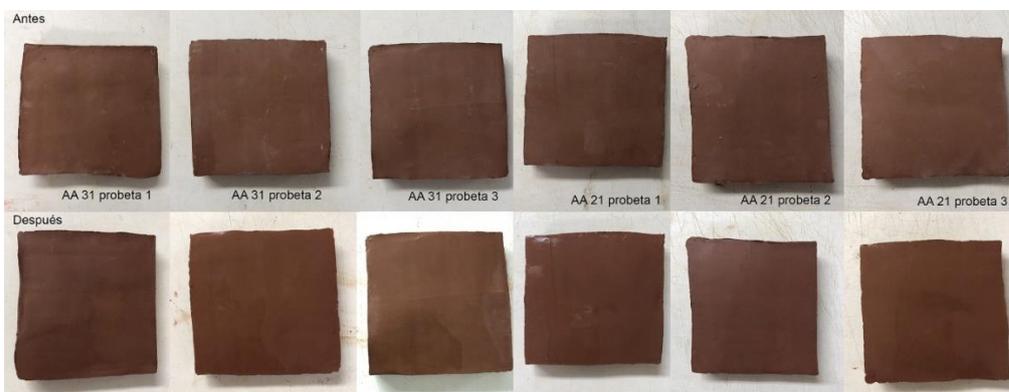
La normativa UNE 41410:2008 proporciona una tabla con criterios de evaluación para determinar si la pieza ensayada es apta o no apta para resistir los efectos de erosión por la acción directa y constante del agua. Se midió la oquedad de las piezas tras ser ensayadas y se comparó con esta tabla.

**Tabla 18.** Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo. Fuente: Elaboración propia

Propiedad	Criterio	Resultados
D, (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq d \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto



**Imagen 23.** Antes y después de ensayo de erosión acelerada Swinburne en muestra A 2:1 y muestra A 3:1. Fuente: Elaboración propia.



**Imagen 24.** Antes y después de ensayo de erosión acelerada Swinburne en muestra AA 3:1 y muestra AA 2:1. Fuente: Elaboración propia.

Aunque todas las probetas clasifican como “apto” porque la oquedad no supera los 10mm de profundidad que señala la normativa, hay una notable diferencia entre las muestras 1 y 2, que son elaboradas con tierra y agua, y las muestras 3 y 4, en donde se ha incorporado el GOV. En las muestras con GOV no se ha generado ninguna señal de oquedad, por lo que se demuestra que este gel ha proporcionado una resistencia a la erosión significativa.

**Tabla 19.** Oquedad en probetas ensayadas. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Oquedad (mm)			
	A 3:1	A 2:1	AA 3:1	AA 2:1
Probeta 1	1.75	1.25	0	0
Probeta 2	0.6	0.87	0	0
Probeta 3	0.45	0.75	0	0

## 9 Conclusiones

El gel de origen vegetal producto de la extracción del almidón contenido en el arroz resultó mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la tierra con la que se elaboraron los bloques. De tal manera que los bloques de tierra elaborados con este GOV presentaron mejoras en su resistencia mecánica, superando las exigencias requeridas por normativa para un BTC, y las mejoras en sus propiedades físicas le permiten ser un bloque resistente al paso del tiempo y a los cambios en las condiciones a las que se exponga.

Se logró conseguir estas mejoras bajo la premisa de elaborar un producto de bajo impacto ambiental, ya que los compuestos con los que se elaboran son orgánicos y el proceso de elaboración no involucra el uso de hornos como en un ladrillo de arcilla convencional. Los compuestos orgánicos tienen un menor impacto de extracción como materia prima y una ventaja importante a resaltar es que a su fin de ciclo de vida pueden volver a su origen sin dañar el medio ambiente.

Mediante los ensayos realizados se pudo comprobar que es un bloque de tierra seguro y competente frente a los bloques convencionales utilizados en mamposterías. Se sustenta en los resultados obtenidos al final mediante las pruebas de resistencia mecánica en probetas ya envejecidas, donde se comprueba que aun existiendo un deterioro en la pieza siguen cumpliendo con la resistencia requerida por normativa.

A continuación, se plantea una evaluación general de los resultados obtenidos mediante un semáforo que indica con verde los mejores resultados, con amarillos resultados favorables y en rojo los resultados menos favorables. Se destaca la muestra AA 2:1 con los mejores resultados en los ensayos, probetas elaboradas con GOV y una dosificación de 2:1 de arcilla-árido fino. Sin embargo, la variación de resultados entre las dosificaciones no fue significativo por lo que tanto la muestra AA 3:1 como la AA 2:1 demostraron ser aptas para la fabricación de este bloque de tierra.

**Tabla 20.** Semáforo de resultados. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Estado endurecido		Resistencia mecánica tras envejecimiento			Comportamiento frente al agua		
	MOE	Compresión y flexión	Humectación/secado	Corrosión salina	Hielo/dehielo	SAET	Succión capilar	Permeabilidad
<b>Muestra 1 (A 3:1)</b>	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Yellow
<b>Muestra 2 (A 2:1)</b>	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Yellow
<b>Muestra 3 (AA 3:1)</b>	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
<b>Muestra 4 (AA 2:1)</b>	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green

Desde la experiencia adquirida mediante el proceso de este estudio, sorprende como se logra elaborar una metodología fácilmente replicable con componentes accesibles y sin la necesidad de contar con un equipo especializado, lo cual permitirá a personas en diferentes contextos fabricar y hacer uso de este bloque de tierra. Aunque para que este GOV pueda fabricarse de tal modo que se pueda realizar la manufactura de este bloque de tierra en masa, habrá que buscar una metodología que permita extraer el almidón del arroz de forma más eficiente. Por la literatura existente, el utilizar harina de arroz glutinoso puede ser una opción factible que habrá que seguirse ensayando hasta tener resultados favorables.

## 10 Bibliografía

- AMAYA-PINOS, J.B., 2018. Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista colombiana de química*, vol. 48, no. 1, pp. 43-51.
- ANDREU-RODRIGUEZ, J., FERRÁNDEZ-GARCIA, C.E., FERRÁNDEZ-GARCIA, M.T., FERRÁNDEZ-VILLENA, M. y GARCÍA-ORTUÑO, T., 2014. Estudio de los Usos del Almidón en la Construcción. *Universidad Miguel Hernández de Elche*, pp. 1-4.
- BARCELO, L., KLINE, J., WALENTA, G. y GARTNER, E., 2014. Cement and carbon emissions. , pp. 1055-1065. DOI 10.1617/s11527-013-0114-5.
- BURRELL, M.M., 2003. Starch: The need for improved quality or quantity - An overview. *Journal of Experimental Botany*, vol. 54, no. 382, pp. 451-456. ISSN 00220957. DOI 10.1093/jxb/erg049.
- CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2013. *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. S.l.: s.n.
- CALDERÓN PEÑAFIEL, J.C., 2019. Estudio experimental de geopolímeros de arcillas (Experimental study of clay geopolymers). ,
- DOVE, C., 2014. The development of unfired earth bricks using seaweed biopolymers. *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 142, pp. 219-230. ISSN 17433509. DOI 10.2495/ARC140201.
- FELTON, D., FULLER, R. y CRAWFORD, R.H., 2014. The potential for renewable materials to reduce the embodied energy and associated greenhouse gas emissions of medium-rise buildings. *Architectural Science Review*, vol. 57, no. 1, pp. 31-38. ISSN 17589622. DOI 10.1080/00038628.2013.829022.
- FUWEI, Y., BINGJIAN, Z. y QINGLIN, M., 2010. Study of Sticky Rice - Lime Mortar Technology. *accounts of chemical research /American Chemical Society* [en línea], vol. 43, no. 6, pp. 936-944. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ar9001944>.
- GATTI, F., 2012. Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra. *Universidad Politécnica de Catalunya* [en línea], pp. 101. Disponible en: <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura>.
- GONZÁLEZ SÁNCHEZ, B., 2013. *INFORME DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL SISTEMA MODULAR S-LOW DE CONSTRUCCIÓN CON ESTRUCTURA DE MADERA Y ENVOLVENTE DE TAPIA*. S.l.: s.n.
- GUILLAUD, H., 2003. an Approach To the Evolution of Earthen Building Cultures in Orient and Mediterranean Regions—What Future for Such an Exceptional Legacy?—. *ラーフィイダーン = al-Rāfidān*, vol. 24. ISSN 0285-4406.
- HASANBEIGI, A., PRICE, L. y LIN, E., 2012. Emerging energy-efficiency and CO 2 emission-reduction technologies for cement and concrete production : A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 16, no. 8, pp. 6220-6238. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2012.07.019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.019>.
- HUADONG, G., 2013. Kaiping Diaolou and Villages. *Atlas of Remote Sensing for World Heritage: China*, pp. 112-117. DOI 10.1007/978-3-642-32823-7\_15.
- LÓPEZ DÁVALOS, A., 2018. DESARROLLO DE UN NUEVO BLOQUE DE TIERRA MEJORADO CON LA INCORPORACIÓN DE GEL DE ORIGEN VEGETAL. ,
- MACDOUGALL, C., 1996. NATURAL BUILDING MATERIALS IN MAINSTREAM CONSTRUCTION: LESSONS FROM THE U. K. *Simulation*, vol. 66, no. 2, pp. 91-92. ISSN 0037-5497. DOI 10.1177/003754979606600204.
- PACHECO-TORGAL, F. y JALALI, S., 2012. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 29, pp. 512-519. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>.
- PEI, Q.Q., WANG, X.D., GUO, Q.L., ZHAO, L.Y., ZHANG, B. y LI, Z.P., 2020. Action Mechanism of Sticky Rice-Paste-Modified Site Soil: A Traditional Chinese Cementitious

- Material. *Studies in Conservation*, vol. 65, no. 4, pp. 238-250. ISSN 20470584. DOI 10.1080/00393630.2020.1722517.
- PEI, Q.Q., WANG, X.D., ZHAO, L.Y., ZHANG, B. y GUO, Q.L., 2020. A sticky rice paste preparation method for reinforcing earthen heritage sites. *Journal of Cultural Heritage* [en línea], vol. 44, pp. 98-109. ISSN 12962074. DOI 10.1016/j.culher.2020.01.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.01.009>.
- PLANK, J., 2004. Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 66, no. 1, pp. 1-9. ISSN 01757598. DOI 10.1007/s00253-004-1714-3.
- REHAN, R. y NEHDI, M., 2012. Carbon dioxide emissions and climate change : policy implications for the cement industry. , vol. 8, no. 2005, pp. 105-114. DOI 10.1016/j.envsci.2004.12.006.
- TOURTELOT, J., FOURDRIN, C., D'ESPINOSE DE LACAILLERIE, J.-B., BOURGÈS, A. y KEITA, E., 2021. Starch reinforcement of raw earth constructions. , pp. 5-8.
- VENKATARAMA REDDY, B. V. y JAGADISH, K.S., 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, vol. 35, no. 2, pp. 129-137. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(01)00141-4.
- VILANE, B.R.T., 2010. Assessment of stabilisation of adobes by confined compression tests. *Biosystems Engineering* [en línea], vol. 106, no. 4, pp. 551-558. ISSN 15375110. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2010.06.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.008>.
- WALKER, P.J., 1995. Strength, durability and shrinkage characteristics of cement stabilised soil blocks. *Cement and Concrete Composites*, vol. 17, no. 4, pp. 301-310. ISSN 09589465. DOI 10.1016/0958-9465(95)00019-9.
- WEI, G., ZHANG, H., WANG, H., FANG, S., ZHANG, B. y YANG, F., 2012. An experimental study on application of sticky rice-lime mortar in conservation of the stone tower in the Xiangji Temple. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 28, no. 1, pp. 624-632. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2011.09.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.09.008>.
- WIKIPEDIA, 2022. Arroz. [en línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arroz>.
- XIAO, Y., FU, X., GU, H., GAO, F. y LIU, S., 2014. Properties, characterization, and decay of sticky rice-lime mortars from the Wugang Ming dynasty city wall (China). *Materials Characterization* [en línea], vol. 90, pp. 164-172. ISSN 10445803. DOI 10.1016/j.matchar.2014.01.024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2014.01.024>.
- YANG, F., ZHANG, B., PAN, C. y ZENG, Y., 2009. Traditional mortar represented by sticky rice lime mortar-One of the great inventions in ancient China. *Science in China, Series E: Technological Sciences*, vol. 52, no. 6, pp. 1641-1647. ISSN 10069321. DOI 10.1007/s11431-008-0317-0.
- YANG, R., ZHANG, Z., XIE, M. y LI, K., 2016. Microstructural insights into the lime mortars mixed with sticky rice sol-gel or water: A comparative study. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 125, pp. 974-980. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.119. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.119>.
- YUSTE, B., 2009. Arquitectura de tierra: caracterización de los tipos edificatorios. , pp. 122.

## **Agradecimientos**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por sustentar mis estudios de máster y hacer posible esta investigación.

A mi tutora, Antonia Navarro Ezquerro, por todo el apoyo brindado, su confianza y su guía constante a través del desarrollo de este trabajo.

A Belén González Sánchez por sus valiosas aportaciones y por haber sido un gran soporte en todo momento.

Al Laboratorio de Materiales y sus colaboradores por el apoyo constante en mi etapa de proceso experimental.

Finalmente agradezco a mi familia y amigos por brindarme su fortaleza y entusiasmo de manera especial e incondicional.

## **Anexos**

**CONTROL DE HUMEDAD**

Agua 2:1		60° estufa		08/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
II	171.75	233.32	232.41	60.66	0.91	1.50%
III	204.02	300.48	299.31	95.29	1.17	1.23%
IV	424.22	499.97	498.66	74.44	1.31	1.76%
						<b>1.50%</b>

Agua 3:1		60° estufa		10/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
XIII	626.77	686.16	685.49	58.72	0.67	1.14%
XIV	626.77	697.32	696.53	69.76	0.79	1.13%
XV	626.77	700.9	700.09	73.32	0.81	1.10%
						<b>1.13%</b>

AA 2:1		60° estufa		10/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
XIII	626.77	682.83	682.14	55.37	0.69	1.25%
XIV	626.77	686.58	685.76	58.99	0.82	1.39%
XV	626.77	690.78	689.96	63.19	0.82	1.30%
						<b>1.31%</b>

AA 3:1		60° estufa		11/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
XIII	652.2	720.09	719.14	66.94	0.95	1.42%
XIV	652.2	721.82	720.9	68.7	0.92	1.34%
XV	652.2	722.93	722.01	69.81	0.92	1.32%
						<b>1.36%</b>

**Humedad - Ensayo humedad/secado**

Agua 3:1		60° estufa		08/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
IV	478.27	548.28	547.23	68.96	1.05	1.52%
V	478.27	566.4	565.36	87.09	1.04	1.19%
VI	478.27	566.88	565.83	87.56	1.05	1.20%
						<b>1.31%</b>

Agua 2:1		60° estufa		10/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
I	478.27	564.06	563.16	84.89	0.9	1.06%
V	478.27	520.23	519.76	41.49	0.47	1.13%
VI	478.27	534.69	534.11	55.84	0.58	1.04%
						<b>1.08%</b>

AA 2:1		60° estufa		10/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
I	478.27	554.58	553.72	75.45	0.86	1.14%
II	478.27	535.84	535.42	57.15	0.42	0.73%
III	478.27	550.77	549.96	71.69	0.81	1.13%
						<b>1.00%</b>

AA 3:1		60° estufa		11/11/2021		
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad

VII	478.27	539.63	539	60.73	0.63	1.04%
VIII	478.27	565.84	564.9	86.63	0.94	1.09%
IX	478.27	564.98	564.06	85.79	0.92	1.07%
						<b>1.06%</b>

#### Humedad - Corrosión salina

Agua 3:1	60° estufa	08/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
VII	566.33	652.76	651.5	85.17	1.26	1.48%
VIII	566.33	635.67	634.61	68.28	1.06	1.55%
IX	566.33	641.85	640.55	74.22	1.3	1.75%
						<b>1.59%</b>

Agua 2:1	60° estufa	10/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
VII	566.33	615.47	614.75	48.42	0.72	1.49%
VIII	566.33	661.67	660.41	94.08	1.26	1.34%
IX	566.33	646.86	645.76	79.43	1.1	1.38%
						<b>1.40%</b>

AA 2:1	60° estufa	10/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
IV	566.33	615.23	614.4	48.07	0.83	1.73%
V	566.33	639.54	638.41	72.08	1.13	1.57%
VI	566.33	640.94	639.81	73.48	1.13	1.54%
						<b>1.61%</b>

AA 3:1	60° estufa	11/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
X	566.33	625.43	624.49	58.16	0.94	1.62%
XI	566.33	624.62	623.66	57.33	0.96	1.67%
XII	566.33	628.43	627.43	61.1	1	1.64%
						<b>1.64%</b>

#### Humedad - Ensayo hielo/deshielo

Agua 3:1	60° estufa	08/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
I	561.76	621.12	620.24	58.48	0.88	1.50%
II	561.76	639.72	638.61	76.85	1.11	1.44%
III	561.76	609.97	609.15	47.39	0.82	1.73%
						<b>1.56%</b>

Agua 2:1	60° estufa	10/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
I	561.76	647.87	646.73	84.97	1.14	1.34%
II	561.76	657.38	656.15	94.39	1.23	1.30%
III	561.76	639.29	638.26	76.5	1.03	1.35%
						<b>1.33%</b>

AA 2:1	60° estufa	10/11/2021				
No. probeta	Tara	Peso inicial	Peso final	Suelo	Agua	Humedad
VIII	561.76	649.02	647.79	86.03	1.23	1.43%
IX	561.76	661.25	659.88	98.12	1.37	1.40%



Módulo de Young dinámico (MOE)

Muestra 1 A 3:1		Fecha:	09/11/2021		Hora:		10:09						
Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Frecuencia	Velocidad	Densidad	MOE	MOE			
											g	mm	mm
Dosificación	3:1	I	437.13	152.48	37.64	36.57	91.4	1668	2.083	5796375734	5796		
Humectación	25%	II	441.55	151.72	37.77	36.81	91.9	1651	2.093	5705305417	5705		
Días transcurr	14 días	III	441.16	151.92	38	37.53	92.4	1644	2.036	5504336504	5504		
		IV	436.03	152.08	37.83	36.75	92.4	1646	2.062	5586642071	5587		
		V	435.55	151.98	38.07	37.37	89.9	1691	2.014	5757038054	5757		
		VI	435.82	151.85	37.75	36.61	91.4	1661	2.077	5732088358	5732		
		VII	437.87	152.76	37.82	37.05	90.9	1681	2.046	5777199136	5777		
		VIII	437.22	151.45	37.81	36.92	90.4	1675	2.068	5804489994	5804		
		IX	440.12	152	37.89	37.36	92.4	1645	2.045	5535275954	5535		
		X	442.48	151.36	36.62	37.5	96.9	1562	2.129	5194067661	5194		
		XI	440.44	151.71	37.76	37.51	109.4	1387	2.050	3941733593	3942		
		XII	438.35	152.03	37.63	37	97.4	1561	2.071	5045409844	5045		
		XIII	439.78	151.93	37.92	37.09	94.9	1601	2.058	5274987392	5275		
		XIV	440.27	152.38	38.02	37.26	97.4	1564	2.040	4991995510	4992		
		XV	441.55	152.09	37.69	37.01	97.4	1561	2.081	5074782256	5075		
											2.064	<b>Media:</b>	<b>5381</b>

Muestra 2 A 2:1		Fecha:	08/11/2021		Hora:		09:30						
Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Frecuencia	Velocidad	Densidad	MOE	MOE			
											g	mm	mm
Dosificación	2:1	I	461.98	153.34	38.11	37.59	91.9	1669	2.103	5855127225	5855		
Humectación	25%	II	452.79	152.05	38.44	36.79	99.4	1530	2.106	4927167377	4927		
Días transcurr	14 días	III	456.08	152.8	38.35	37.19	92.4	1654	2.093	5723067829	5723		
		IV	457.6	151.62	38.25	37.58	95.4	1589	2.100	5303438578	5303		
		V	459.66	153.14	38.42	37.15	97.4	1572	2.103	5198658183	5199		
		VI	461.92	153.3	37.79	37.41	99.9	1535	2.131	5018955497	5019		
		VII	458.45	153.35	38.51	37.9	101.9	1505	2.048	4638896263	4639		
		VIII	457	152.56	38.2	36.95	101.4	1505	2.122	4804001833	4804		
		IX	465.92	154.09	38.21	37.75	96.4	1598	2.096	5355965206	5356		
		X	463.64	153.41	37.98	37.32	96.4	1591	2.132	5399877452	5400		
		XI	461.32	153.41	38.62	37.23	97.9	1567	2.091	5135529923	5136		
		XII	458.13	153.65	38.56	36.72	98.9	1554	2.106	5082636085	5083		
		XIII	457.13	153.21	38.42	36.98	93.4	1640	2.100	5650785426	5651		
		XIV	455.88	153.2	38.31	37.09	93.9	1632	2.094	5574541270	5575		
		XV	457.19	153.09	38.12	37.58	91.4	1675	2.085	5848459495	5848		
											2.101	<b>Media:</b>	<b>5301</b>

Muestra 3 AA 3:1		Fecha:	11/11/2021		Hora:		10:48						
Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Frecuencia	Velocidad	Densidad	MOE	MOE			
											g	mm	mm
Dosificación	3:1	I	446.41	152.16	37.97	37.08	73.4	2073	2.084	8954925390	8955		
Humectación	25%	II	444.51	152.15	38.04	37.33	73.4	2073	2.057	8840215953	8840		
Días transcurr	14 días	III	451.69	152.53	37.75	37.4	75.4	2023	2.097	8583501673	8584		
		IV	438.92	150.3	38.05	36.9	74.9	2007	2.080	8375286813	8375		
		V	445.21	151.04	36.86	38.03	74.4	2030	2.103	8666213023	8666		
		VI	444.86	151.74	38.06	37.28	72.9	2081	2.066	8952074607	8952		
		VIII	442.38	151.75	37.95	37.03	72.9	2082	2.074	8988839689	8989		
		IX	442.47	151.93	37.58	37.95	73.9	2056	2.042	8631175263	8631		
		X	441.69	151.84	37.62	37.45	71.4	2127	2.065	9337631374	9338		
		XI	443.11	151.92	37.74	37.31	72.4	2098	2.071	9120575141	9121		
		XIII	445.79	151.8	38.1	37.19	71.4	2126	2.073	9368164672	9368		
		XIV	445.39	151.8	37.88	37.43	68.4	2219	2.069	10192253870	10192		
		XV	447.29	151.83	37.71	37.92	71.4	2126	2.060	9315914548	9316		
											2.072	<b>Media:</b>	<b>7822</b>

Muestra 4 AA 2:1		Fecha:	09/11/2021		Hora:	10:56					
Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Frecuencia	Velocidad	Densidad	MOE	MOE	
		g	mm	mm	mm	$\mu$ s	m/s	g/cm <sup>3</sup>	N/m <sup>2</sup>	Mpa	
Dosificación	2:1	I	463.91	152.6	38.36	37.44	62.9	2426	2.117	12458694551	12459
Humectación	25%	II	470.69	152	38.54	37.79	64.9	2342	2.126	11662739190	11663
Días transcurr	14 días	III	475.45	154.08	38.45	37.43	66.4	2320	2.144	11545129044	11545
		IV	470.34	153.73	38.37	37.18	65.4	2351	2.145	11849877499	11850
		V	463.58	151.72	38.59	37.2	62.4	2431	2.128	12582896587	12583
		VI	465.17	153.62	38.38	37.07	62.9	2442	2.128	12694938803	12695
		VII	460.42	153.47	38.2	37.52	67.4	2277	2.093	10852547315	10853
		VIII	464.6	153.36	38.6	37.6	67.9	2259	2.087	10648209991	10648
		IX	467.01	153.35	38.25	37.78	68.9	2226	2.107	10439462139	10439
		X	460.28	153.82	38.66	36.9	68.9	2233	2.098	10454619997	10455
		XI	460.4	152.04	38.23	37.33	68.4	2223	2.122	10483798967	10484
		XII	461.21	153	38.65	37.3	68.4	2237	2.091	10462117962	10462
		XIII	460.89	152.9	38.5	37.61	66.9	2286	2.082	10873978556	10874
		XIV	460.3	152.88	38.38	37.08	67.4	2268	2.116	10884968085	10885
		XV	461.59	153.12	38.32	37.62	65.4	2341	2.091	11462742164	11463
									2.112	<b>Media:</b>	<b>11290</b>

Muestra 4 AA 2:1		Fecha:	16/11/2021		Hora:	04:23					
Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Frecuencia	Velocidad	Densidad	MOE	MOE	
		g	mm	mm	mm	$\mu$ s	m/s	g/cm <sup>3</sup>	N/m <sup>2</sup>	Mpa	
Dosificación	2:1	XVI	468.12	152.9	38.94	37.53	68.9	2219	2.095	10316959516	10317
Humectación	25%	XVII	466.89	152.94	38.82	37.74	68.9	2220	2.084	10266910764	10267
Días transcurr	14 días	XVIII	464.01	153.18	38.84	37.86	68.4	2239	2.060	10331357054	10331
		XIX	464.92	153.51	38.61	37.72	66.9	2295	2.080	10949421633	10949
		XX	468.09	153.3	38.35	37.85	66.9	2291	2.104	11045567409	11046
		XXI	467.91	152.47	39.35	37.82	67.4	2262	2.062	10552629074	10553
											<b>Media:</b>

Ensayos de resistencia a compresión y flexión

Muestra 1 A 3:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Carga	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media
Dosificación	2:1	XIII	439.78	151.93	37.92	37.09	56	0.24	2.39
Humectación	25%	XIV	440.27	152.38	38.02	37.26	55	0.23	2.33
Días transcurr	14 días	XV	441.55	152.09	37.69	37.01	51	0.22	2.21
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta	Carga	Resistencia a compresión		Media
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1	XIII_a	40	37.09	1483.6	646	0.44	4.35
Humectación	25%	XIII_b	40	37.09	1483.6	607	0.41	4.09
Días transcurr	14 días	XIV_a	40	37.26	1490.4	577	0.39	3.87
Día ensayo	10/11/2021	XIV_b	40	37.26	1490.4	533	0.36	3.58
		XV_a	40	37.01	1480.4	618	0.42	4.17
		XV_b	40	37.01	1480.4	637	0.43	4.30

Muestra 2 A 2:1 10:37am

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Carga	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media
Dosificación	2:1	II	452.79	152.05	38.44	36.79	38	0.16	1.59
Humectación	25%	III	456.08	152.8	38.35	37.19	57	0.24	2.39
Días transcurr	14 días	IV	457.6	151.62	38.25	37.58	57	0.24	2.36
Día ensayo	08/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta	Carga	Resistencia a compresión		Media
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1	II_a	40	36.79	1471.6	541	0.37	3.68
Humectación	25%	II_b	40	36.79	1471.6	494	0.34	3.36
Días transcurr	14 días	III_a	40	37.19	1487.6	559	0.38	3.76
Día ensayo	08/11/2021	III_b	40	37.19	1487.6	526	0.35	3.54
		IV_a	40	37.58	1503.2	551	0.37	3.67
		IV_b	40	37.58	1503.2	264	0.18	1.76

Muestra 3 AA 2:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Carga	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media
Dosificación	2:1	XIII	460.89	152.9	38.5	37.61	166	0.68	6.83
Humectación	25%	XIV	460.3	152.88	38.38	37.08	146	0.61	6.13
Días transcurr	14 días	XV	461.59	153.12	38.32	37.62	154	0.64	6.40
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta	Carga	Resistencia a compresión		Media
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1	XIII_a	40	37.61	1504.4	1357	0.90	9.02
Humectación	25%	XIII_b	40	37.61	1504.4	697	0.46	4.63
Días transcurr	14 días	XIV_a	40	37.08	1483.2	894	0.60	6.03
Día ensayo	10/11/2021	XIV_b	40	37.08	1483.2	1400	0.94	9.44
		XV_a	40	37.62	1504.8	1368	0.91	9.09
		XV_b	40	37.62	1504.8	1481	0.98	9.84

Muestra 3 AA 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso	Longitud	Altura	Ancho	Carga	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media
Dosificación	3:1	XIII	445.79	151.8	38.1	37.19	127	0.54	5.36
Humectación	25%	XIV	445.39	151.8	37.88	37.43	119	0.50	5.05
Días transcurr	14 días	XV	447.29	151.83	37.71	37.92	145	0.61	6.12
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta	Carga	Resistencia a compresión		Media
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	3:1	XIII_a	40	37.19	1487.6	1137	0.76	7.64
Humectación	25%	XIII_b	40	37.19	1487.6	1126	0.76	7.57
Días transcurr	14 días	XIV_a	40	37.43	1497.2	1227	0.82	8.20
Día ensayo	10/11/2021	XIV_b	40	37.43	1497.2	1193	0.80	7.97
		XV_a	40	37.92	1516.8	1092	0.72	7.20
		XV_b	40	37.92	1516.8	1100	0.73	7.25

**Densidad y porosidad**

	<b>A 3:1</b>	<b>A 2:1</b>	<b>AA 3:1</b>	<b>AA 2:1</b>
	(g)	(g)	(g)	(g)
P1. Peso recipiente	111.62	111.62	111.62	111.62
P2. P. recipiente+alcohol	188.85	188.85	188.85	188.85
P3. P. recipiente+tierra	140.59	159.63	135.45	144.81
P4. P. tierra+alcohol	206.73	219.07	203.52	209.42
Densidad alcohol	0.789 g/ml			
Pd=P3-P1	28.97	48.01	23.83	33.19
V. Alcohol	97.88	97.88	97.88	97.88
V. Alcohol sin tierra	83.83	75.34	86.27	81.89
V. real	14.06	22.55	11.61	15.99
<b>Densidad real g/ml</b>	<b>2.06</b>	<b>2.13</b>	<b>2.05</b>	<b>2.08</b>
<b>Densidad aparente g/ml</b>	<b>2.03</b>	<b>2.05</b>	<b>2.05</b>	<b>2.07</b>
Compacidad	0.985	0.963	0.999	0.998
<b>Porosidad</b>	<b>1.51%</b>	<b>3.72%</b>	<b>0.13%</b>	<b>0.24%</b>



Ensayos de resistencia a compresión y flexión después de humedad/secado

Muestra 1 A 3:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	IV	432.95	152.22	38.64	36.64	47	0.20	1.96
Humectación	25%	V	431.95	151.95	37.84	37.02	50	0.21	2.15
Días transcurr	14 días	VI	431.95	151.92	37.74	36.6	38	0.17	1.66
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	IV_a	40	36.64	1465.6	591	0.40	4.03
Humectación	25%	IV_b	40	36.64	1465.6	513	0.35	3.50
Días transcurr	14 días	V_a	40	37.02	1480.8	264	0.18	1.78
Día ensayo	10/11/2021	V_b	40	37.02	1480.8	615	0.42	4.15
		VI_a	40	36.6	1464	613	0.42	4.19
		VI_b	40	36.6	1464	506	0.35	3.46

Muestra 2 A 2:1 10:37am

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I	458.37	153.35	38.33	37.19	50	0.21	2.10
Humectación	25%	V	451.5	153.09	38.18	37.38	41	0.17	1.73
Días transcurr	14 días	VI	455.71	153.48	37.76	37.49	44	0.19	1.90
Día ensayo	08/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I_a	40	37.19	1487.6	203	0.14	1.36
Humectación	25%	I_b	40	37.19	1487.6	543	0.37	3.65
Días transcurr	14 días	V_a	40	37.38	1495.2	648	0.43	4.33
Día ensayo	08/11/2021	V_b	40	37.38	1495.2	300	0.20	2.01
		VI_a	40	37.49	1499.6	29	0.02	0.19
		VI_b	40	37.49	1499.6	500	0.33	3.33

Muestra 3 AA 3:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I	444.45	152.12	37.88	37.49	102	0.43	4.33
Humectación	25%	II	441.84	152.06	37.87	37.11	98	0.42	4.20
Días transcurr	14 días	III	448.43	152.05	37.78	37.31	87	0.37	3.73
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I_a	40	37.49	1499.6	1384	0.92	9.23
Humectación	25%	I_b	40	37.49	1499.6	1501	1.00	10.01
Días transcurr	14 días	II_a	40	37.11	1484.4	694	0.47	4.68
Día ensayo	10/11/2021	II_b	40	37.11	1484.4	1336	0.90	9.00
		III_a	40	37.31	1492.4	1109	0.74	7.43
		III_b	40	37.31	1492.4	1401	0.94	9.39

Muestra 4 AA 2:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	3:1	VII	458.74	153.44	38.49	37.81	104	0.43	4.27
Humectación	25%	VIII	462.87	153.3	38.41	37.57	111	0.46	4.60
Días transcurr	14 días	IX	465.19	153.48	38.04	37.78	100	0.42	4.21
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	3:1	VII_a	40	37.81	1512.4	950	0.63	6.28
Humectación	25%	VII_b	40	37.81	1512.4	1387	0.92	9.17
Días transcurr	14 días	VIII_a	40	37.57	1502.8	1483	0.99	9.87
Día ensayo	10/11/2021	VIII_b	40	37.57	1502.8	934	0.62	6.22
		IX_a	40	37.78	1511.2	1497	0.99	9.91
		IX_b	40	37.78	1511.2	1456	0.96	9.63

Ensayo de corrosión salina

Muestra 1 - A 1-1 Especificaciones de probeta

Especificaciones de probeta	No. probeta	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	11/11/2021		15/11/2021		16/11/2021		17/11/2021		18/11/2021		19/11/2021		20/11/2021		21/11/2021		22/11/2021		23/11/2021		24/11/2021		25/11/2021		26/11/2021		29/11/2021	
					com. succión	1 ciclo	com. succión	2 ciclos	com. succión	3 ciclos	com. succión	4 ciclos	com. succión	5 ciclos	com. succión	6 ciclos	com. succión	7 ciclos	com. succión	8 ciclos	com. succión	9 ciclos	com. succión	10 ciclos	com. succión	11 ciclos	com. succión	12 ciclos	com. succión	13 ciclos	com. succión	14 ciclos
Densificación	2.1	WII	157,76	37,82	37,05	441,69	442,85	441,84	439,44	441,87	439,2	443,44	440,19	443,3	438,86	443,74	440,02	443,36	441,15	445,75	447,81	444,58	450,81	446,22	451,63	443,06	448,73					
Humectación	25%	WII	151,46	37,81	36,92	438,77	441,26	439,44	441,32	438,69	441	438,49	440,09	442,69	439,18	442,55	440,15	440,34	440,34	441,73	447,42	444,08	450,37	447,59	450,94	442,33	461,09					
Días transcurridos	14 días	IK	152	37,89	37,36	441,31	444,25	442,11	444,33	443,53	444,07	446,38	443,23	442,13	446,54	442,26	446,33	443,65	443,65	444,95	450,62	447,13	452,31	447,59	453,21	445,07	461,88					
Duración cíclica	24h				0	2,49	0,67	2,84	0,14	2,55	-0,08	2,23	-0,38	4,88	1,32	3,92	0,41	3,78	1,38	4,46	1,57	6,35	2,96	8,65	5,31	11,6	7,12	12,17	3,56	9,32		
					0	2,44	0,48	3,89	0,30	2,52	-0,18	2,02	-0,34	4,57	1,42	3,99	0,45	4,72	1,84	6,62	3,14	8,81	5,32	10,5	6,09	11,4	3,26	9,82				
					0	2,49	0,78	3,48	0,28	2,59	0,01	2,32	-0,19	4,58	1,26	4,02	0,58	4,37	0,90	6,52	3,20	8,71	5,35	11,25	6,76	12,02	3,58	9,57				

Muestra 2 - A 2-1 Especificaciones de probeta

Especificaciones de probeta	No. probeta	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	12/11/2021		15/11/2021		16/11/2021		17/11/2021		18/11/2021		19/11/2021		20/11/2021		21/11/2021		22/11/2021		23/11/2021		24/11/2021		25/11/2021		26/11/2021		29/11/2021	
					com. succión	1 ciclo	com. succión	2 ciclos	com. succión	3 ciclos	com. succión	4 ciclos	com. succión	5 ciclos	com. succión	6 ciclos	com. succión	7 ciclos	com. succión	8 ciclos	com. succión	9 ciclos	com. succión	10 ciclos	com. succión	11 ciclos	com. succión	12 ciclos	com. succión	13 ciclos	com. succión	14 ciclos
Densificación	2.1	WII	153,35	38,51	37,9	454,69	457,64	455,55	458,13	464,81	463	454,82	457,73	458,99	455,45	459,29	456,01	460	456,59	461,06	462,93	470,46	481,35	462,39	467,52	458,13	464,52					
Humectación	25%	WII	151,04	38,05	37,25	449,78	452,72	450,63	453,21	459,85	458,3	461,83	458,93	462,6	460,3	464,18	460,8	466,5	466,5	469,8	474,12	479,96	485,56	472,64	479,36	469,51	476,33					
Días transcurridos	14 días	IK	154,09	38,21	37,25	463,93	469,42	468,15	464,35	464,35	466,56	469,31	468,83	465,07	468,44	466,18	469,33	465,21	469,38	466,16	471,2	467,33	473,96	471,96	485,56	472,64	479,36	469,51	476,33			
Duración cíclica	24h				0	2,95	0,86	3,49	0,12	8,31	-0,07	2,81	0,17	4,66	1,04	4,30	0,76	4,6	1,32	5,31	1,9	7,27	3,79	9,49	17,21	26,66	7,68	12,83	3,44	9,83		
					0	3,25	0,91	3,43	0,03	10,79	-0,47	2,10	-0,74	4,44	0,59	3,77	0,39	4,37	0,73	5,41	1,9	7,27	3,79	9,49	17,21	26,66	7,68	12,83	3,44	9,83		
					0	3,49	1,47	4,22	0,42	4,30	-0,03	3,03	0,38	4,90	1,14	4,51	1,25	5	1,28	5,46	2,23	7,27	3,9	10,03	21,83	8,71	14,46	4,72	11,39			
					0	3,23	1,08	3,71	0,19	6,17	-0,19	2,65	-0,08	4,07	0,92	4,19	0,80	4,69	1,11	5,39	2,01	6,97	3,68	9,23	13,97	24,82	8,37	14,24	4,38	11,21		

Muestra 3 - A 3-1 Especificaciones de probeta

Especificaciones de probeta	No. probeta	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	11/11/2021		15/11/2021		16/11/2021		17/11/2021		18/11/2021		19/11/2021		20/11/2021		21/11/2021		22/11/2021		23/11/2021		24/11/2021		25/11/2021		26/11/2021		29/11/2021	
					com. succión	1 ciclo	com. succión	2 ciclos	com. succión	3 ciclos	com. succión	4 ciclos	com. succión	5 ciclos	com. succión	6 ciclos	com. succión	7 ciclos	com. succión	8 ciclos	com. succión	9 ciclos	com. succión	10 ciclos	com. succión	11 ciclos	com. succión	12 ciclos	com. succión	13 ciclos	com. succión	14 ciclos
Densificación	2.1	IV	150,3	38,05	36,9	447,8	449,15	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	447,8	
Humectación	25%	V	151,04	38,66	38,03	445,21	446,54	445,44	446,69	444,78	446,54	445,07	447,02	445,21	448,35	445,87	446,76	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85	449,85
Días transcurridos	14 días	VI	151,74	38,06	37,28	444,86	446,29	445,25	446,29	448,37	440,15	444,89	446,41	444,56	447,70	443,34	447,58	446,38	449,92	446,08	446,22	447,08	453,54	449,11	452,73	449,11	455,99	449,34	454,91	446,01	465,83	
Duración cíclica	24h				0	7,28	0,02	1,23	5,86	7,73	-0,55	1,18	-0,48	2,49	0,01	2,20	-0,05	4,98	0,86	1,66	2,89	7,81	3,33	10,42	4,88	10,49	0,51	9,55				
					0	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43	6,75	4,85	0,39	1,43
					0	4,62	0,39	1,43	6,49	4,71	0,03	1,55	0,09	2,84	0,88	2,72	0,52	5,06	1,22	4,38	2,22	8,68	4,25	7,97	4,25	11,13	4,48	10,05	1,15	10,97		
					0	1,32	0,21	1,38	-0,35	1,45	-0,22	1,51	-0,13	2,82	0,38	2,73	0,37	5,26	1,04	4,55	1,98	7,81	3,27	7,82	3,70	11,97	5,14	10,54	1,19	10,14		

Muestra 4 - A 4-1 Especificaciones de probeta

Especificaciones de probeta	No. probeta	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	11/11/2021		15/11/2021		16/11/2021		17/11/2021		18/11/2021		19/11/2021		20/11/2021		21/11/2021		22/11/2021		23/11/2021		24/11/2021		25/11/2021		26/11/2021		29/11/2021	
					com. succión	1 ciclo	com. succión	2 ciclos	com. succión	3 ciclos	com. succión	4 ciclos	com. succión	5 ciclos	com. succión	6 ciclos	com. succión	7 ciclos	com. succión	8 ciclos	com. succión	9 ciclos	com. succión	10 ciclos	com. succión	11 ciclos	com. succión	12 ciclos	com. succión	13 ciclos	com. succión	14 ciclos
Densificación	2.1	X	153,82	38,66	36,9	460,79	462,37	463,06	461,01	463,00	461,36	463,31	461,46	462,95	462,30	465,13	462,38	469,65	463,03	468,32	464,61	476,04	469,53	475,85	459,63	466,42	473,14	480,59	467,32	485,82		
Humectación	25%	XI	152,04	38,23	37,33	460,88	462,46	461,54	463,03	461,1	462,98	463,18	461,28	465,34	462,25	464,85	462,38	469,91	463,14	468,42	464,78	474,41	468,15	474,28	458,14	464,82	471,98	477,87	466,14	482,45		
Días transcurridos	14 días	XII	153	38,65	37,3	461,88	463,46	462,52	464,01	462,18	464,35	462,46	464,53	462,6	466,76	463,6	466,82	470,3	468,32	473,6	469,82	480,45	474,28	480,59	476,99	483,29	478,8	493,8	476,99	493,8		
Duración cíclica	24h				0	1,58	0,65	2,21	0,22	2,10	0,57	2,32	0,22	4,16	1,51	3,97	1,19	8,06	2,24	3,82	5,19	8,26	4,56	15,06	4,16	5,83	11,28	5,03	21,03			
					0	1,52	0,66	2,15	0,22	2,10	0,47	2,30	0,40	4,46	1,37	3,97	1,15	8,06	2,26	3,74	5,14	6,32	7,27	13,4	-2,74	3,94	11,09	16,99	5,26	21,57		
					0	1,44	0,64	2,09	0,21	1,79	0,33	1,80	0,21	4,17	1,06	4,25	1,47	7,78	2,46	8,44	4,02	15,88	8,96	16,54	8,21	15,55	17,25	24,74	8,78	23,62		
					0	1,51	0,65	2,17	0,22	2,03	0,46	2,21	0,43	3,60	1,31	4,19	1,52	8,22	2,32	7,60	3,91	14,89	8,32	15,00	14,44	8,37	13,94	20,51	6,86	23,41		

Ensayos de resistencia a compresión y flexión después de corrosión salina

Muestra 1 A 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1 VII	440.57	152.44	38.38	37.53	50	0.21	2.07	<b>2.20</b>
Humectación	25% VIII	439.15	152.4	38.47	37.46	50	0.21	2.06	
Días transcurr	14 días IX	442.93	151.68	38.47	37.43	60	0.25	2.46	
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		Media N/mm <sup>2</sup>
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1 VII_a	40	37.53	1501.2	633	0.42	4.22	<b>3.62</b>
Humectación	25% VII_b	40	37.53	1501.2	620	0.41	4.13	
Días transcurr	14 días VIII_a	40	37.46	1498.4	458	0.31	3.06	
Día ensayo	10/11/2021 VIII_b	40	37.46	1498.4	471	0.31	3.14	
	IX_a	40	37.43	1497.2	489	0.33	3.27	
	IX_b	40	37.43	1497.2	587	0.39	3.92	

Muestra 2 A 2:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1 VII	455.37	154.26	38.08	38.14	64	0.27	2.68	<b>2.48</b>
Humectación	25% VIII	452.96	153.39	38.41	37.68	54	0.22	2.24	
Días transcurr	14 días IX	460.79	154.63	39.37	38.39	65	0.25	2.53	
Día ensayo	08/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		Media N/mm <sup>2</sup>
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1 VII_a	40	38.14	1525.6	507	0.33	3.32	<b>3.74</b>
Humectación	25% VII_b	40	38.14	1525.6	507	0.33	3.32	
Días transcurr	14 días VIII_a	40	37.68	1507.2	541	0.36	3.59	
Día ensayo	08/11/2021 VIII_b	40	37.68	1507.2	649	0.43	4.31	
	IX_a	40	38.39	1535.6	568	0.37	3.70	
	IX_b	40	38.39	1535.6	647	0.42	4.21	

Muestra 3 AA 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1 IV	432.05	150.66	38.72	36.86	78	0.32	3.19	<b>3.53</b>
Humectación	25% V	440.94	151.09	38.51	37.27	82	0.34	3.36	
Días transcurr	14 días VI	441.85	151.6	38.22	36.95	96	0.40	4.04	
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		Media N/mm <sup>2</sup>
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	2:1 IV_a	40	36.86	1474.4	559	0.38	3.79	<b>6.36</b>
Humectación	25% IV_b	40	36.86	1474.4	840	0.57	5.70	
Días transcurr	14 días V_a	40	37.27	1490.8	1066	0.72	7.15	
Día ensayo	10/11/2021 V_b	40	37.27	1490.8	1000	0.67	6.71	
	VI_a	40	36.95	1478	1034	0.70	7.00	
	VI_b	40	36.95	1478	1154	0.78	7.81	

Muestra 4 AA 2:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	3:1 X	455.72	152.23	39.79	37.51	107	0.41	4.11	<b>3.97</b>
Humectación	25% XI	458.38	152.63	38.9	38.33	96	0.38	3.79	
Días transcurr	14 días XII	457.43	153.21	39.25	38.46	103	0.40	4.00	
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		Media N/mm <sup>2</sup>
						Kg/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Dosificación	3:1 X_a	40	37.51	1500.4	1063	0.71	7.08	<b>6.42</b>
Humectación	25% X_b	40	37.51	1500.4	573	0.38	3.82	
Días transcurr	14 días XI_a	40	38.33	1533.2	1171	0.76	7.64	
Día ensayo	10/11/2021 XI_b	40	38.33	1533.2	1191	0.78	7.77	
	XII_a	40	38.46	1538.4	1021	0.66	6.64	
	XII_b	40	38.46	1538.4	857	0.56	5.57	



Ensayos de resistencia a compresión y flexión después de hielo/deshielo

Muestra 1 A 3:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I	428.55	152.54	37	38.19	46	0.20	2.01
Humectación	25%	II	437.4	151.8	37.88	36.94	34	0.15	1.46
Días transcurr	14 días	III	431.96	152.34	37.58	38.19	38	0.16	1.61
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I_a	40	38.19	1527.6	527	0.34	3.45
Humectación	25%	I_b	40	38.19	1527.6	404	0.26	2.64
Días transcurr	14 días	II_a	40	36.94	1477.6	467	0.32	3.16
Día ensayo	10/11/2021	II_b	40	36.94	1477.6	426	0.29	2.88
		III_a	40	38.19	1527.6	463	0.30	3.03
		III_b	40	38.19	1527.6	538	0.35	3.52

Muestra 2 A 2:1 10:37am

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	I	452.15	153.51	38.15	37.11	44	0.19	1.88
Humectación	25%	II	446.36	153.57	38.41	36.72	45	0.19	1.91
Días transcurr	14 días	III	443.44	153.19	38.26	36.91	48	0.20	2.04
Día ensayo	08/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	XI_a	40	37.11	1484.4	542	0.37	3.65
Humectación	25%	XI_b	40	37.11	1484.4	537	0.36	3.62
Días transcurr	14 días	XII_a	40	36.72	1468.8	296	0.20	2.02
Día ensayo	08/11/2021	XII_b	40	36.72	1468.8	565	0.38	3.85
		XIII_a	40	36.91	1476.4	448	0.30	3.03
		XIII_b	40	36.91	1476.4	182	0.12	1.23

Muestra 3 AA 2:1 03:10

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	VIII	439.83	151.76	37.86	36.99	191	0.82	8.20
Humectación	25%	IX	438.77	151.82	37.94	37.59	102	0.43	4.29
Días transcurr	14 días	XI	441.13	151.93	37.7	37.79	91	0.39	3.86
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	2:1	VIII_a	40	36.99	1479.6	1167	0.79	7.89
Humectación	25%	VIII_b	40	36.99	1479.6	1313	0.89	8.87
Días transcurr	14 días	IX_a	40	37.59	1503.6	861	0.57	5.73
Día ensayo	10/11/2021	IX_b	40	37.59	1503.6	1038	0.69	6.90
		XI_a	40	37.79	1511.6	1198	0.79	7.93
		XI_b	40	37.79	1511.6	1116	0.74	7.38

Muestra 3 AA 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Carga Kg	Resistencia a flexión		
							Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	3:1	I	460.83	152.51	38.51	37.86	112	0.46	4.56
Humectación	25%	II	466.05	152.06	38.53	38	129	0.52	5.22
Días transcurr	14 días	III	470.83	151.02	38.57	37.51	140	0.57	5.68
Día ensayo	10/11/2021								

Especificaciones de probeta	No. probeta	Distancia 1	Ancho	Área bruta mm <sup>2</sup>	Carga Kg	Resistencia a compresión		
						Kg/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>	Media N/mm <sup>2</sup>
Dosificación	3:1	I_a	40	37.86	1514.4	1528	1.01	10.09
Humectación	25%	I_b	40	37.86	1514.4	1530	1.01	10.10
Días transcurr	14 días	II_a	40	38	1520	1280	0.84	8.42
Día ensayo	10/11/2021	II_b	40	38	1520	1278	0.84	8.41
		III_a	40	37.51	1500.4	1482	0.99	9.88
		III_b	40	37.51	1500.4	1715	1.14	11.43

Módulo de Young dinámico (MOE)

Muestra 1 A 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Frecuencia μs	Velocidad m/s	Densidad g/cm <sup>3</sup>	MOE N/m <sup>2</sup>	MOE Mpa	MOE (Media) Mpa	Desviación Mpa
Dosificación	3:1	I	428.91	152.48	37.64	36.57	90.9	1677	2.044	5750117425	5750	
Humectación	25%	II	437.78	151.72	37.77	36.81	91.4	1660	2.075	5718650528	5719	163.13
		III	432.34	151.92	38	37.53	91.9	1653	1.995	5453146762	5453	
		IV	433.23	152.22	38.64	36.64	93.4	1630	2.010	5339540748	5340	
		V	432.35	151.95	37.84	37.02	88.4	1719	2.031	6001282841	6001	5763
		VI	432.23	151.92	37.74	36.6	89.4	1699	2.060	5948012052	5948	
		VII	441.41	152.44	38.38	37.53	93.4	1632	2.010	5355053581	5355	
		VIII	439.56	152.4	38.47	37.46	92.4	1649	2.001	5444640758	5445	5329
		IX	443.38	151.68	38.47	37.43	94.9	1598	2.030	5185969769	5186	131.36
									Media:	2.03	Media:	5577

Muestra 2 A 2:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Frecuencia μs	Velocidad m/s	Densidad g/cm <sup>3</sup>	MOE N/m <sup>2</sup>	MOE Mpa	MOE (Media) Mpa	Desviación Mpa	
Dosificación	2:1	I	458.62	153.35	38.33	37.19	87.4	1755	2.098	6458756438	6459		
Humectación	25%	V	451.76	153.09	38.18	37.38	86.4	1772	2.068	6491602095	6492	6440	
		VI	454	153.48	37.76	37.49	87.9	1746	2.090	6370631244	6371	62.56	
		VII	456.3	154.26	38.08	38.14	95.4	1617	2.037	5325120234	5325		
		VIII	454.09	153.39	38.41	37.68	94.9	1616	2.045	5343814318	5344	5561	
		IX	464.62	154.63	39.37	38.39	88.9	1739	1.988	6014570329	6015	392.77	
		XI	452.47	153.41	38.62	37.23	89.9	1706	2.051	5973361114	5973		
		XII	446.66	153.65	38.56	36.72	90.4	1700	2.053	5931070242	5931	6080	
		XIII	448.77	153.21	38.42	36.98	87.4	1753	2.062	6335250573	6335	222.15	
									Media:	2.05	Media:	6027	

Muestra 3 AA 3:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Frecuencia μs	Velocidad m/s	Densidad g/cm <sup>3</sup>	MOE N/m <sup>2</sup>	MOE Mpa	MOE (Media) Mpa	Desviación Mpa	
Dosificación	3:1	I	444.67	152.12	37.88	37.49	69.4	2192	2.058	9889624349	9890		
Humectación	25%	II	441.98	152.06	37.87	37.11	66.9	2273	2.068	10685112737	10685	10207	
		III	448.6	152.05	37.78	37.31	69.4	2191	2.093	10047072825	10047	421.25	
		IV	434.1	150.66	38.72	36.86	72.9	2067	2.019	8622674911	8623		
		V	442.14	151.09	38.51	37.27	73.9	2045	2.039	8522632070	8523	8452	
		VI	434.81	151.6	38.22	36.95	75.4	2011	2.031	8210146522	8210	215.19	
		VIII	440.06	151.75	37.95	37.03	69.9	2171	2.064	9725697341	9726		
		IX	439.05	151.93	37.58	37.95	71.4	2128	2.026	9174714100	9175	9458	
		XI	441.44	151.92	37.74	37.31	70.9	2143	2.064	9474733858	9475	275.86	
									Media:	2.05	Media:	9372	

Muestra 4 AA 2:1

Especificaciones de probeta	No. probeta	Peso g	Longitud mm	Altura mm	Ancho mm	Frecuencia μs	Velocidad m/s	Densidad g/cm <sup>3</sup>	MOE N/m <sup>2</sup>	MOE Mpa	MOE (Media) Mpa	Desviación Mpa	
Dosificación	2:1	I	461.09	152.6	38.36	37.44	61.4	2485	2.104	12995382182	12995		
Humectación	25%	II	466.32	152	38.54	37.79	60.9	2496	2.106	13122133227	13122	13094	
		III	471.11	154.08	38.45	37.43	61.9	2489	2.125	13163492289	13163	87.60	
		VII	458.91	153.44	38.49	37.81	64.4	2383	2.055	11666478581	11666		
		VIII	463	153.3	38.41	37.57	64.9	2362	2.093	11677456282	11677	11596	
		IX	465.35	153.48	38.04	37.78	65.9	2329	2.110	11443482709	11443	132.03	
		X	459.97	152.23	39.79	37.51	71.9	2117	2.024	9075090622	9075		
		XI	462.96	152.63	38.9	38.33	71.4	2138	2.034	9296051680	9296	9215	
		XII	459.25	153.21	39.25	38.46	70.9	2161	1.986	9272457815	9272	121.34	
									Media:	2.07	Media:	11301	

**Ensayo de absorción de agua por capilaridad**

Probeta	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Longitud (m)	Ancho (m)	As (mm <sup>2</sup> )	tiempo (t=min)	Tasa inicial de absorción de agua (Kg/m <sup>2</sup> *min)	Media (Kg/m <sup>2</sup> *min)	Desviación media
A 31 XI	0.44	0.44	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	3.52	0.35
A 31 XII	0.44	0.44	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	3.02	
A 21 XIV	0.45	0.46	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	2.82	0.09
A 21 XV	0.46	0.46	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	2.94	
AA 31 XVI	0.44	0.45	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	1.20	0.17
AA 31 XVII	0.44	0.44	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	0.96	
AA 21 V	0.46	0.46	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	1.51	0.31
AA 21 VI	0.46	0.46	0.15	0.04	0.04	0.01	0.13	1.07	

**DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (UNE-EN 1015-19)**

**DATOS DEL ENSAYO**

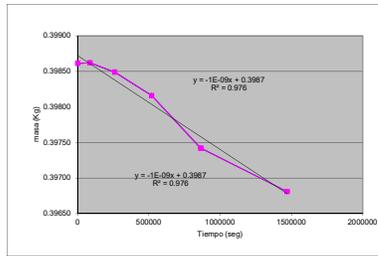
- > Reactivo interior cubeta: **agua** proporcionando una H. Relativa del 100% [W<sub>r,ad</sub>]
- > Reactivo interior cubeta: **gel de sílice** proporcionando una H. Relativa del 20% [W<sub>r,ad</sub>]
- > Condiciones ambientales del ensayo: conservación en cámara climática a 50% ± 2% de HR y 20°C ± 2 °C [W<sub>r</sub>, y T<sub>a</sub>]
- > Diferencial de presión calculado entre el exterior y el interior de la cubeta de ensayo: Depende de la T, W<sub>r</sub> y W<sub>r,c</sub>
- > Permeabilidad vapor de agua al aire : 1.952 x 10<sup>-10</sup> kgm/(m2.s-Pa) [δa]

**CONSTANTES CÁLCULO**

Δ (Kg/(m2.s-Pa))	permeanza al vapor de agua	
W <sub>e</sub>	permeabilidad vapor agua	
δa	permeabilidad vapor agua al aire =	<b>1.952E-10</b>
W <sub>r</sub> cambia	0.5	Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)=0,5
T cambia °C	21	Temperatura ambiente
W <sub>r</sub> solución:		Humedad relativa de la solución (p.e. 100%)=1
Δp:	-1242.70	fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.00139614	
Grosor (m):	0.02314	

**RESULTADOS**

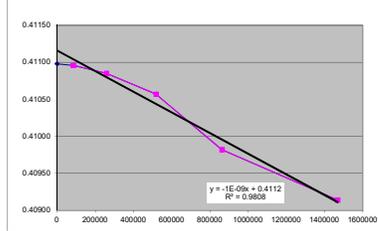
Mostra						
A 31 X b						
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	398.61	0.39861	0.39861
17/11/2021	24	24.00	86400	398.62	0.39862	0.39862
18/11/2021	48	72.00	259200	398.49	0.39849	0.39849
19/11/2021	72	144.00	518400	398.16	0.39816	0.39816
22/11/2021	96	240.00	864000	397.42	0.39742	0.39742
23/11/2021	168	408.00	1468800	396.81	0.39681	0.39681



Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001403251
Grosor (m):	0.0242175

**RESULTADOS**

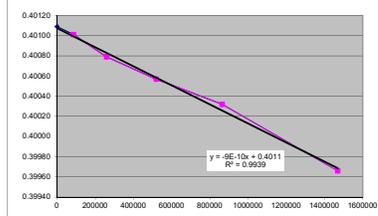
Mostra						
A 31 X c						
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	410.98	0.41098	0.41098
17/11/2021	24	24.00	86400	410.96	0.41096	0.41096
18/11/2021	48	72.00	259200	410.85	0.41085	0.41085
19/11/2021	72	144.00	518400	410.57	0.41057	0.41057
22/11/2021	96	240.00	864000	409.82	0.40982	0.40982
23/11/2021	168	408.00	1468800	409.14	0.40914	0.40914



Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001456179
Grosor (m):	0.0239525

**RESULTADOS**

Mostra						
A 21 X a						
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	401.09	0.40109	0.40109
17/11/2021	24	24.00	86400	401.01	0.40101	0.40101
18/11/2021	48	72.00	259200	400.79	0.40079	0.40079
19/11/2021	72	144.00	518400	400.57	0.40057	0.40057
22/11/2021	96	240.00	864000	400.32	0.40032	0.40032
23/11/2021	168	408.00	1468800	399.66	0.39966	0.39966

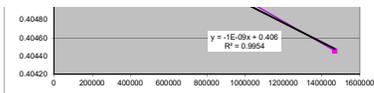


Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001415104
Grosor (m):	0.024565

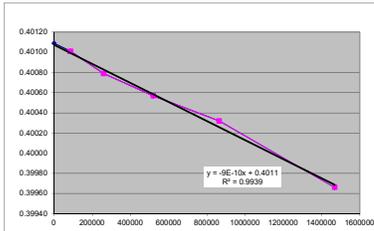
**RESULTADOS**

Mostra						
A 21 X b						
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	406.08	0.40608	
17/11/2021	24	24.00	86400	405.97	0.40597	0.40597
18/11/2021	48	72.00	259200	405.74	0.40574	0.40574
19/11/2021	72	144.00	518400	405.47	0.40547	0.40547
22/11/2021	96	240.00	864000	405.19	0.40519	0.40519
23/11/2021	168	408.00	1468800	404.46	0.40446	0.40446

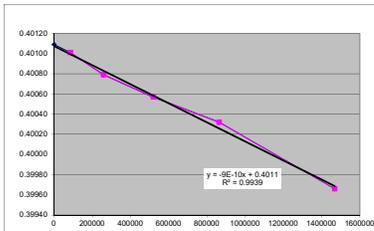




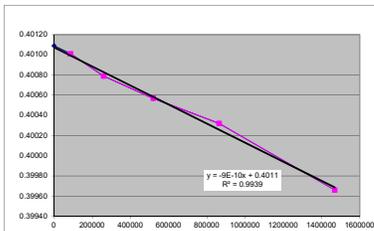
Mostra							RESULTADOS						
A 21 X c							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=5a/6	
							pendent recta	densidad flujo	Kg/(m2segPascal)	Resistencia al vapor agua	Kg/(msPa)	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.4332E-07	Permeancia	5.1764E-10	1.9319E+09	1.37782E-11	14.17
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001399001												
Grosor (m):	0.0266175												
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendent							
16/11/2021	0	0.00	0	405.45	0.40545								
17/11/2021	24	24.00	86400	405.35	0.40535	0.40535							
18/11/2021	48	72.00	259200	405.12	0.40512	0.40512							
19/11/2021	72	144.00	518400	404.84	0.40484	0.40484							
22/11/2021	96	240.00	864000	404.55	0.40455	0.40455							
23/11/2021	168	408.00	1468800	403.76	0.40376	0.40376							



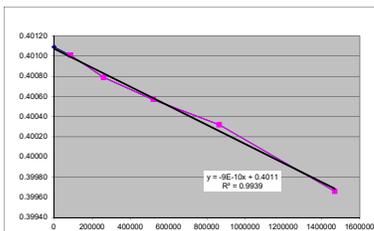
Mostra							RESULTADOS						
AA 31 X a							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=5a/6	
							pendent recta	densidad flujo	Kg/(m2segPascal)	Resistencia al vapor agua	Kg/(msPa)	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.1881E-07	Permeancia	4.9631E-10	2.0149E+09	1.1363E-11	17.18
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001459118												
Grosor (m):	0.022895												
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendent							
16/11/2021	0	0.00	0	402.46	0.40246								
17/11/2021	24	24.00	86400	402.41	0.40241	0.40241							
18/11/2021	48	72.00	259200	402.37	0.40237	0.40237							
19/11/2021	72	144.00	518400	402.29	0.40229	0.40229							
22/11/2021	96	240.00	864000	402.11	0.40211	0.40211							
23/11/2021	168	408.00	1468800	401.58	0.40158	0.40158							



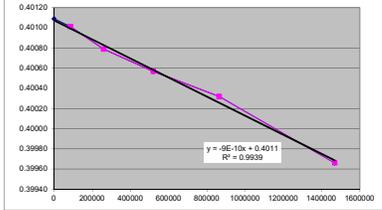
Mostra							RESULTADOS						
AA 31 X b							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=5a/6	
							pendent recta	densidad flujo	Kg/(m2segPascal)	Resistencia al vapor agua	Kg/(msPa)	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.4656E-07	Permeancia	5.2025E-10	1.9222E+09	1.24287E-11	15.71
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001391988												
Grosor (m):	0.02389												
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendent							
16/11/2021	0	0.00	0	399.31	0.39931								
17/11/2021	24	24.00	86400	399.24	0.39924	0.39924							
18/11/2021	48	72.00	259200	399.18	0.39918	0.39918							
19/11/2021	72	144.00	518400	399.05	0.39905	0.39905							
22/11/2021	96	240.00	864000	398.78	0.39878	0.39878							
23/11/2021	168	408.00	1468800	398.08	0.39808	0.39808							



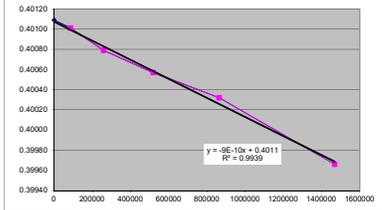
Mostra							RESULTADOS						
AA 31 X c							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=5a/6	
							pendent recta	densidad flujo	Kg/(m2segPascal)	Resistencia al vapor agua	Kg/(msPa)	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.4953E-07	Permeancia	5.2264E-10	1.9134E+09	1.24271E-11	15.71
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001385614												
Grosor (m):	0.0237775												
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendent							
16/11/2021	0	0.00	0	393.73	0.39373								
17/11/2021	24	24.00	86400	393.67	0.39367	0.39367							
18/11/2021	48	72.00	259200	393.59	0.39359	0.39359							
19/11/2021	72	144.00	518400	393.48	0.39348	0.39348							
22/11/2021	96	240.00	864000	393.23	0.39323	0.39323							
23/11/2021	168	408.00	1468800	392.54	0.39254	0.39254							



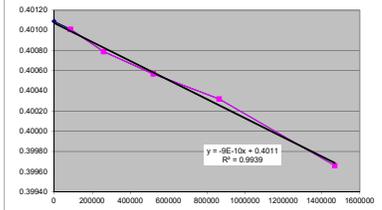
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001435595					
AA 21 IV a							Grosor (m):	0.020695					
							<b>RESULTADOS</b>						
							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	δ=W*d	μ=δa/δ	
							pendient recta	densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor agua	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.2892E-07	5.0444E-10	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	1.9824E+09	1.04395E-11	18.70
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendient							
16/11/2021	0	0.00	0	468.44	0.46844								
17/11/2021	24	24.00	86400	468.38	0.46838	0.46838							
18/11/2021	48	72.00	259200	468.35	0.46835	0.46835							
19/11/2021	72	144.00	518400	468.24	0.46824	0.46824							
22/11/2021	96	240.00	864000	468.09	0.46809	0.46809							
23/11/2021	168	408.00	1468800	467.59	0.46759	0.46759							



Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001417282					
AA 21 IV b							Grosor (m):	0.021725					
							<b>RESULTADOS</b>						
							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	δ=W*d	μ=δa/δ	
							pendient recta	densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor agua	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.3503E-07	5.1097E-10	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	1.9571E+09	1.11008E-11	17.58
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendient							
16/11/2021	0	0.00	0	397.93	0.39793								
17/11/2021	24	24.00	86400	397.91	0.39791	0.39791							
18/11/2021	48	72.00	259200	397.87	0.39787	0.39787							
19/11/2021	72	144.00	518400	397.78	0.39778	0.39778							
22/11/2021	96	240.00	864000	397.83	0.39783	0.39783							
23/11/2021	168	408.00	1468800	397.13	0.39713	0.39713							



Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001432538					
AA 21 IV c							Grosor (m):	0.022835					
							<b>RESULTADOS</b>						
							G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=eg/APv	Z =1/W	δ=W*d	μ=δa/δ	
							pendient recta	densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor agua	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua	
							-9E-10	-6.2826E-07	5.0552E-10	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	1.9782E+09	1.15435E-11	16.91
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendient							
16/11/2021	0	0.00	0	471.36	0.47136								
17/11/2021	24	24.00	86400	470.84	0.47084	0.47084							
18/11/2021	48	72.00	259200	470.62	0.47062	0.47062							
19/11/2021	72	144.00	518400	470.46	0.47046	0.47046							
22/11/2021	96	240.00	864000	470.24	0.47024	0.47024							
23/11/2021	168	408.00	1468800	469.56	0.46956	0.46956							



**DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (UNE-EN 1015-19)**

**DATOS DEL ENSAYO**

- > Reactivo interior cubeta: **agua** proporcionando una H. Relativa del 100% [W<sub>r,so</sub>]
- > Reactivo interior cubeta: **gel de sílice** proporcionando una H. Relativa del 20% [W<sub>r,sa</sub>]
- > Condiciones ambientales del ensayo: conservación en cámara climática a 50% ± 2% de HR y 20°C ± 2 °C [W<sub>r</sub>, y T<sub>a</sub>]
- > Diferencial de presión calculado entre el exterior y el interior de la cubeta de ensayo: Depende de la T, W<sub>r</sub>s y W<sub>r</sub>c
- > Permeabilidad vapor de agua al aire:  $1.952 \times 10^{-10}$  Kg/(m<sup>2</sup>·s·Pa) [6a]

**CONSTANTES CALCULO**

Δ (Kg/(m <sup>2</sup> ·s·Pa))	permeancia al vapor de agua	
W <sub>sp</sub>	permeabilidad vapor agua	
Δa	permeabilidad vapor agua al aire =	<b>1.952E-10</b>
W <sub>r</sub> cambia	0.5	Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambia °C	21	Temperatura ambiente
W <sub>r</sub> solución:	0.2	Humedad relativa de la solución (p.e. 20%)
Δp:	745.67	fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.00133271	
Grosor (m):	0.024055	

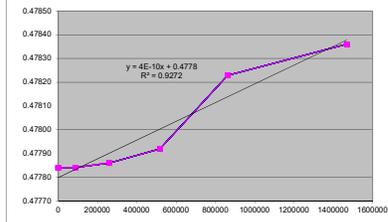
**RESULTADOS**

<b>G (Kg/s)</b> pendient recta	<b>g=G/A (Kg/(sm<sup>2</sup>))</b> densidad flujo	<b>W=g/APv</b> <b>Kg/(m<sup>2</sup>segPascal)</b> Permeancia	<b>Z = 1/W</b> <b>(m<sup>2</sup>segPascal)/Kg</b> Resistencia al vapor agua	<b>β=W*d</b> <b>Kg/(msPa)</b> Permeabi. al vapor de agua	<b>μ=βa/δ</b> Factor resistencia al vapor de agua
4.0000E-10	3.0014E-07	4.0251E-10	2.4844E+09	9.68234E-12	20.16

Mostra

A 31 X d

dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	477.84	0.47784	0.47784
17/11/2021	24	24.00	86400	477.84	0.47784	0.47784
18/11/2021	48	72.00	259200	477.86	0.47786	0.47786
19/11/2021	72	144.00	518400	477.92	0.47792	
22/11/2021	96	240.00	864000	478.23	0.47823	
23/11/2021	168	408.00	1468800	478.36	0.47836	0.47836



Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001408496
Grosor (m):	0.022955

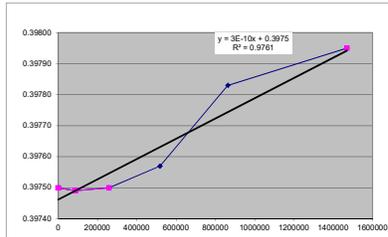
**RESULTADOS**

<b>G (Kg/s)</b> pendient recta	<b>g=G/A (Kg/(sm<sup>2</sup>))</b> densidad flujo	<b>W=g/APv</b> <b>Kg/(m<sup>2</sup>segPascal)</b> Permeancia	<b>Z = 1/W</b> <b>(m<sup>2</sup>segPascal)/Kg</b> Resistencia al vapor agua	<b>β=W*d</b> <b>Kg/(msPa)</b> Permeabi. al vapor de agua	<b>μ=βa/δ</b> Factor resistencia al vapor de agua
3.0000E-10	2.1299E-07	2.8564E-10	3.5009E+09	6.55683E-12	29.77

Mostra

A 31 X e

dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	397.5	0.39750	0.39750
17/11/2021	24	24.00	86400	397.49	0.39749	0.39749
18/11/2021	48	72.00	259200	397.5	0.39750	0.39750
19/11/2021	72	144.00	518400	397.57	0.39757	
22/11/2021	96	240.00	864000	397.83	0.39783	
23/11/2021	168	408.00	1468800	397.95	0.39795	0.39795



Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001404748
Grosor (m):	0.023785

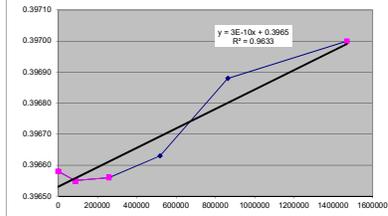
**RESULTADOS**

<b>G (Kg/s)</b> pendient recta	<b>g=G/A (Kg/(sm<sup>2</sup>))</b> densidad flujo	<b>W=g/APv</b> <b>Kg/(m<sup>2</sup>segPascal)</b> Permeancia	<b>Z = 1/W</b> <b>(m<sup>2</sup>segPascal)/Kg</b> Resistencia al vapor agua	<b>β=W*d</b> <b>Kg/(msPa)</b> Permeabi. al vapor de agua	<b>μ=βa/δ</b> Factor resistencia al vapor de agua
3.0000E-10	2.1356E-07	2.8640E-10	3.4916E+09	6.81203E-12	28.66

Mostra

A 31 X f

dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	396.58	0.39658	0.39658
17/11/2021	24	24.00	86400	396.55	0.39655	0.39655
18/11/2021	48	72.00	259200	396.56	0.39656	0.39656
19/11/2021	72	144.00	518400	396.63	0.39663	
22/11/2021	96	240.00	864000	396.88	0.39688	
23/11/2021	168	408.00	1468800	397	0.39700	0.39700



Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001409084
Grosor (m):	0.022825

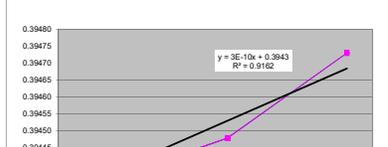
**RESULTADOS**

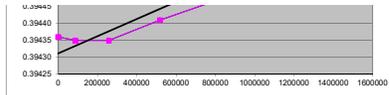
<b>G (Kg/s)</b> pendient recta	<b>g=G/A (Kg/(sm<sup>2</sup>))</b> densidad flujo	<b>W=g/APv</b> <b>Kg/(m<sup>2</sup>segPascal)</b> Permeancia	<b>Z = 1/W</b> <b>(m<sup>2</sup>segPascal)/Kg</b> Resistencia al vapor agua	<b>β=W*d</b> <b>Kg/(msPa)</b> Permeabi. al vapor de agua	<b>μ=βa/δ</b> Factor resistencia al vapor de agua
3.0000E-10	2.1290E-07	2.8552E-10	3.5024E+09	6.51697E-12	29.95

Mostra

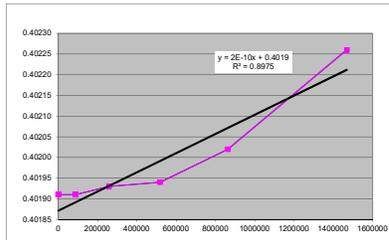
A 21 X d

dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient
16/11/2021	0	0.00	0	394.35	0.39435	0.39435
17/11/2021	24	24.00	86400	394.35	0.39435	0.39435
18/11/2021	48	72.00	259200	394.35	0.39435	0.39435
19/11/2021	72	144.00	518400	394.41	0.39441	0.39441
19/11/2021	96	240.00	864000	394.48	0.39448	0.39448
22/11/2021	168	408.00	1468800	394.73	0.39473	0.39473

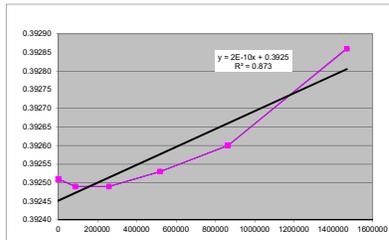




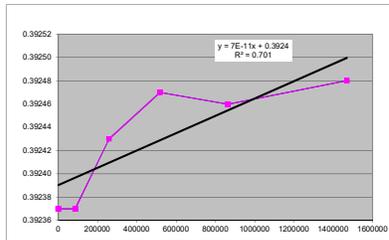
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001415507	<b>RESULTADOS</b>								
							Grosor (m):	0.0232875	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv (Kg/(m <sup>2</sup> segPascal))	Z = 1/W (m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	δ=W*d (Kg/(msPa))	μ=δa/δ (Factor resistencia al vapor de agua)			
A 21 X e							pendient recta	2.0000E-10	densidad flujo	1.4129E-07	Permeancia	1.8948E-10	Resistencia al vapor agua	5.2775E+09	Permeabi. al vapor de agua	4.41257E-12	44.24
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient											
15/11/2021	0	0.00	0	401.91	0.40191	0.40191											
16/11/2021	24	24.00	86400	401.91	0.40191	0.40191											
17/11/2021	48	72.00	259200	401.93	0.40193	0.40193											
18/11/2021	72	144.00	518400	401.94	0.40194	0.40194											
19/11/2021	96	240.00	864000	402.02	0.40202	0.40202											
22/11/2021	168	408.00	1468800	402.26	0.40226	0.40226											



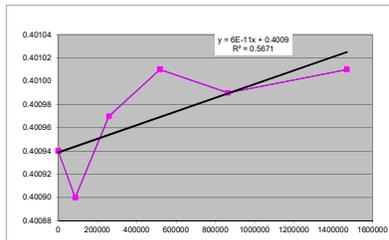
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001414653	<b>RESULTADOS</b>								
							Grosor (m):	0.02343	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv (Kg/(m <sup>2</sup> segPascal))	Z = 1/W (m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	δ=W*d (Kg/(msPa))	μ=δa/δ (Factor resistencia al vapor de agua)			
A 21 X f							pendient recta	2.0000E-10	densidad flujo	1.4138E-07	Permeancia	1.8960E-10	Resistencia al vapor agua	5.2744E+09	Permeabi. al vapor de agua	4.44225E-12	43.94
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient											
15/11/2021	0	0.00	0	392.51	0.39251	0.39251											
16/11/2021	24	24.00	86400	392.49	0.39249	0.39249											
17/11/2021	48	72.00	259200	392.49	0.39249	0.39249											
18/11/2021	72	144.00	518400	392.53	0.39253	0.39253											
19/11/2021	96	240.00	864000	392.6	0.39260	0.39260											
22/11/2021	168	408.00	1468800	392.86	0.39286	0.39286											



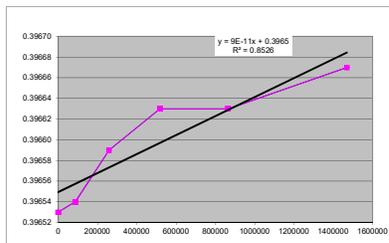
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001396815	<b>RESULTADOS</b>								
							Grosor (m):	0.0235975	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv (Kg/(m <sup>2</sup> segPascal))	Z = 1/W (m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	δ=W*d (Kg/(msPa))	μ=δa/δ (Factor resistencia al vapor de agua)			
AA 31 X d							pendient recta	7.0000E-11	densidad flujo	5.0114E-08	Permeancia	6.7206E-11	Resistencia al vapor agua	1.4880E+10	Permeabi. al vapor de agua	1.5859E-12	123.08
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient											
22/11/2021	0	0.00	0	392.37	0.39237	0.39237											
23/11/2021	24	24.00	86400	392.37	0.39237	0.39237											
24/11/2021	48	72.00	259200	392.43	0.39243	0.39243											
25/11/2021	72	144.00	518400	392.47	0.39247	0.39247											
28/11/2021	96	240.00	864000	392.46	0.39246	0.39246											
29/11/2021	168	408.00	1468800	392.48	0.39248	0.39248											



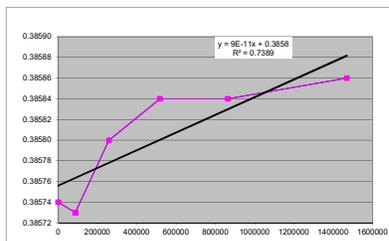
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001393856	<b>RESULTADOS</b>								
							Grosor (m):	0.0228725	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv (Kg/(m <sup>2</sup> segPascal))	Z = 1/W (m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	δ=W*d (Kg/(msPa))	μ=δa/δ (Factor resistencia al vapor de agua)			
AA 31 X e							pendient recta	6.0000E-11	densidad flujo	4.3046E-08	Permeancia	5.7728E-11	Resistencia al vapor agua	1.7323E+10	Permeabi. al vapor de agua	1.32038E-12	147.84
dia	hora exacta	hora	segundos	masa (g)	masa KG	pendient											
22/11/2021	0	0.00	0	400.94	0.40094	0.40094											
23/11/2021	24	24.00	86400	400.9	0.40090	0.40090											
24/11/2021	48	72.00	259200	400.97	0.40097	0.40097											
25/11/2021	72	144.00	518400	401.01	0.40101	0.40101											
28/11/2021	96	240.00	864000	400.99	0.40099	0.40099											
29/11/2021	168	408.00	1468800	401.01	0.40101	0.40101											



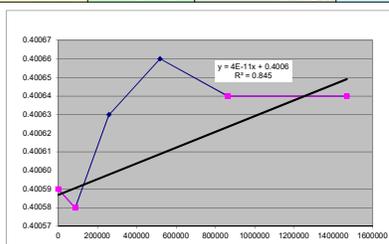
Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001384701	<b>RESULTADOS</b>							
							Grosor (m):	0.0258275	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=βa/δ		
							pendent recta	9.0000E-11	densidad flujo	6.4996E-08	Kg/(m <sup>2</sup> segPascal)	Permeancia	Resistencia al vapor agua	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
AA 31 X f	pendent recta	9.0000E-11	densidad flujo	6.4996E-08	Permeancia	8.7164E-11	Resistencia al vapor agua	1.1473E+10	Permeabi. al vapor de agua	2.25123E-12	Factor resistencia al vapor de agua	86.71				
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendent										
22/11/2021	0	0.00	0	396.53	0.39653	0.39653										
23/11/2021	24	24.00	86400	396.54	0.39654	0.39654										
24/11/2021	48	72.00	259200	396.59	0.39659	0.39659										
25/11/2021	72	144.00	518400	396.63	0.39663	0.39663										
26/11/2021	96	240.00	864000	396.63	0.39663	0.39663										
29/11/2021	168	408.00	1468800	396.67	0.39667	0.39667										



Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001399847	<b>RESULTADOS</b>							
							Grosor (m):	0.0207125	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=βa/δ		
							pendent recta	9.0000E-11	densidad flujo	6.4293E-08	Kg/(m <sup>2</sup> segPascal)	Permeancia	Resistencia al vapor agua	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
AA 21 IV d	pendent recta	9.0000E-11	densidad flujo	6.4293E-08	Permeancia	8.6221E-11	Resistencia al vapor agua	1.1598E+10	Permeabi. al vapor de agua	1.78585E-12	Factor resistencia al vapor de agua	109.30				
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendent										
22/11/2021	0	0.00	0	385.74	0.38574	0.38574										
23/11/2021	24	24.00	86400	385.73	0.38573	0.38573										
24/11/2021	48	72.00	259200	385.8	0.38580	0.38580										
25/11/2021	72	144.00	518400	385.84	0.38584	0.38584										
26/11/2021	96	240.00	864000	385.84	0.38584	0.38584										
29/11/2021	168	408.00	1468800	385.86	0.38586	0.38586										



Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001430066	<b>RESULTADOS</b>							
							Grosor (m):	0.02362	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=βa/δ		
							pendent recta	4.0000E-11	densidad flujo	2.7959E-08	Kg/(m <sup>2</sup> segPascal)	Permeancia	Resistencia al vapor agua	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
AA 21 IV e	pendent recta	4.0000E-11	densidad flujo	2.7959E-08	Permeancia	3.7495E-11	Resistencia al vapor agua	2.6670E+10	Permeabi. al vapor de agua	8.85633E-13	Factor resistencia al vapor de agua	220.41				
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendent										
16/11/2021	0	0.00	0	400.59	0.40059	0.40059										
17/11/2021	24	24.00	86400	400.58	0.40058	0.40058										
18/11/2021	48	72.00	259200	400.63	0.40063	0.40063										
19/11/2021	72	144.00	518400	400.66	0.40066	0.40066										
22/11/2021	96	240.00	864000	400.64	0.40064	0.40064										
23/11/2021	168	408.00	1468800	400.64	0.40064	0.40064										



Mostra							Superficie (m <sup>2</sup> ):	0.001453515	<b>RESULTADOS</b>							
							Grosor (m):	0.0238725	G (Kg/s)	g=G/A (Kg/(sm <sup>2</sup> ))	W=g/APv	Z =1/W	β=W*d	μ=βa/δ		
							pendent recta	4.0000E-11	densidad flujo	2.7519E-08	Kg/(m <sup>2</sup> segPascal)	Permeancia	Resistencia al vapor agua	(m <sup>2</sup> segPascal)/Kg	Permeabi. al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
AA 21 IV f	pendent recta	4.0000E-11	densidad flujo	2.7519E-08	Permeancia	3.6905E-11	Resistencia al vapor agua	2.7096E+10	Permeabi. al vapor de agua	8.81026E-13	Factor resistencia al vapor de agua	221.56				
dia	hora exacta	hora	segundos	massa (g)	massa KG	pendent										
16/11/2021	0	0.00	0	471.78	0.47178	0.47178										
17/11/2021	24	24.00	86400	471.77	0.47177	0.47177										
18/11/2021	48	72.00	259200	471.81	0.47181	0.47181										
19/11/2021	72	144.00	518400	471.85	0.47185	0.47185										
22/11/2021	96	240.00	864000	471.85	0.47185	0.47185										
23/11/2021	168	408.00	1468800	471.84	0.47184	0.47184										

