

Agosto 2018 - ISSN: 1696-8352

“MORTERO DE CEMENTO-ARCILLAS PARA IMPRESORAS 3D”

Marco Palacios - Carvajal

Universidad Nacional de Chimborazo, ECUADOR

jpalacios@unach.edu.ec

Luís Velastegui – Cáceres

Universidad Nacional de Chimborazo,

ECUADOR

lavelastegui@unach.edu.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Marco Palacios – Carvajal y Luís Velastegui – Cáceres (2018): “Mortero de cemento-arcillas para impresoras 3D”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (agosto 2018). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/08/mortero-impresoras-3d.html>

En la actualidad las impresoras 3D son implementadas para la fabricación de todo tipo de obra civil permitiendo un ahorro de 60% en los materiales y el 70% del tiempo de producción dando como resultado una optimización del 80% de costos laborales; sin embargo en Ecuador esta tecnología no se aplica en su totalidad por la dificultad de manejar un material con las características necesarias para adaptarse a estos equipos.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la parte química, granulométrica y plástica de tres arcillas, obtenidas de: “Mina Cochancay” (M1), “Mina Santa Clara” (M2) y “Mina Shirahuan” (M3), con el fin de obtener morteros aptos para utilizarse en impresoras 3D. Con el fin de evaluar estas propiedades se realizó una comparación de valores de resistencia, tiempo de fraguado, límite líquido, límite plástico y contenido de humedad obtenidos de ensayos realizados en laboratorios especializados.

Los resultados demostraron que la arcilla “Mina Cochancay” (M1), tiene un contenido de humedad de 23.40%, característica que la convierte en la más adecuada para la fabricación de morteros; además, presenta un esfuerzo a la compresión de 15.36 MPa. Cuando se combina con cemento tipo IP.

* Máster en Gestión Ambiental, Diplomado en Desechos Sólidos, Ingeniero Civil. Coordinador del Plan de Contingencia CONESUP – UNACH, Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Docente en la Escuela de Ingeniería Civil, Miembro del directorio de la Cámara de Construcción de Riobamba, Planificación Estratégica en la Gestión Pública, Instituto Nacional de Administración Pública (República Dominicana). Consultor en varias instituciones. Publicación de Revista “Galería Fotográfica del Centro Histórico de Riobamba”.

** Máster en Gestión de Proyectos de desarrollo en Sistemas, Magister en Calculo de estructuras de obras civiles, Ingeniero Civil, Docente Investigador UNACH, Docente ocasional de la Universidad Nacional de Chimborazo en: la Facultad de Ingeniería de asignaturas de Metodología de la Investigación, Estructuras I, Estructuras II, Estructuras III, Gerencia de Proyectos, Gestión Empresarial, Proyectos de Graduación.

Palabras claves: Arcilla, mortero, caracterizar.

ABSTRACT

At present, 3D printers are implemented for the manufacture of all types of civil works allowing a 60% savings in materials and 70% of production time resulting in an optimization of 80% of labor costs; however, in Ecuador this technology is not applied in its entirety because of the difficulty of handling a material with the necessary characteristics to adapt to these equipment.

The objective of this research is to characterize the chemical, granulometric and plastic part of three clays, obtained from: "Cochancay Mine" (M1), "Santa Clara Mine" (M2) and "Shirahuan Mine" (M3), in order to get mortars suitable for use in 3D printers. In order to evaluate these properties, a comparison was made of resistance values, setting time, liquid limit, plastic limit and moisture content obtained from tests carried out in specialized laboratories.

The results showed that clay "Mina Cochancay" (M1), has a moisture content of 23.40%, a characteristic that makes it the most suitable for the manufacture of mortars; in addition, it presents an effort at compression of 15.36 MPa. When combined with IP type cement.

Key words: Clay, mortar, characterize.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 20 años existen las impresoras 3D, pero es hasta el día de hoy donde realmente se está aprovechando su verdadero potencial sobre todo abriendo un gran espacio de análisis en la Ingeniería Civil. (Vazhnov, 2016)

El uso de las impresoras 3D en la construcción, posibilitará realizar viviendas utilizando esta nueva tecnología; con lo que se podría reducir problemáticas como el empleo de obra falsa, desperdicio de materiales y tiempo, etc. de esta manera se proveerá un ahorro económico en el proceso de construcción; sin embargo, el principal limitante para el uso de las impresoras 3D es desarrollar un mortero con materiales locales que se adapte al uso de estos nuevos equipos. (Arq. Clarin, 2017)

El mortero arcilla-cemento es la mezcla íntima y homogénea de la arcilla pulverizada con determinadas cantidades de cemento portland y agua, de esta manera se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, prácticamente impermeable, termo aislante y estable en el tiempo. (Chiguay, 2007)

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química por su influencia directa en las propiedades de los morteros obtenidos. Por ejemplo, arcillas con alto contenido de caolinita permiten obtener morteros con carácter refractario, coloración clara y buenas propiedades mecánica, mientras que altos contenidos de illita y montmorillonita confieren alta plasticidad a las pastas lo que se traduce en un fácil conformado de las piezas, pero también en una gran contracción de las mismas durante el secado, lo cual puede llevar a

la formación de grietas; en tales casos se debe agregar material desgrasante para ajustar la plasticidad de la pasta. (Santos, Malagón, & Córdoba, 2009)

La plasticidad es otro parámetro importante a controlar entendiéndose ésta como la propiedad que tienen las arcillas de formar una masa plástica con el agua. Uno de los métodos más sencillos para determinar tal propiedad es el límite de Atterberg, que comprende el límite líquido es el porcentaje de humedad que posee un suelo cuando se halla entre los límites del estado líquido y estado plástico, límite plástico es la menor humedad a la cual un suelo se puede moldear; e índice de plasticidad es la diferencia de los dos límites anteriores e indica el intervalo de trabajabilidad de la arcilla. (Zea Osorio, 2005)

A través del límite líquido y límite plástico podemos tener una idea del tipo de suelo que se está utilizando y su comportamiento plástico. Atterberg establece rangos del índice plástico que presente el material para determinar su plasticidad, siendo los siguientes:

Tabla 1. Rangos del Índice plástico.

Índice plástico	Suelo
Igual a cero	No plástico
Menor de 7	Baja plasticidad
Comprendido entre 7 y 17	Medianamente plástico
Mayor de 17	Altamente plástico

Elaborado por: Autores.

DESARROLLO

El constante avance tecnológico obliga al ser humano a adoptar nuevos conocimientos técnicos a diferentes áreas. El uso de impresoras 3D ayuda a reducir el consumo de recursos en los procesos de construcción como el uso de obra falsa, el desperdicio de materiales, el tiempo no productivo de la mano de obra (Jofre, 2017). De esta manera se logra un importante ahorro económico en el proceso de construcción de una vivienda. La mejora del material de impresión 3D se ha vuelto el objetivo de muchas empresas del todo el mundo de todos los sectores de industria, pues el principal limitante para su uso es la necesidad de materiales exclusivamente adaptados para el proceso de impresión. (Corp, 2017)

Dentro de los materiales utilizados en la construcción se encuentran hormigones y morteros. La obtención de materiales cementicios no tradicionales no es algo nuevo, pues los denominados cementos de suelo fueron desarrollados en la unión soviética del siglo pasado y se conoce como geopolimeros. Otros materiales como las arcillas también se han probado en la elaboración de materiales cementicios con buenos resultados (Sukmak, De Silva, Horpibulsuk, & Chindaprasirt, 2015). Un aspecto fundamental a considerar son los parámetros relacionados con los materiales que se usan en impresoras 3D, como la trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencias a compresión. (Andrews-Phaedonos, 2016)

El desarrollo de morteros para impresoras 3D, en el campo constructivo ha ido en aumento de forma muy significativa. A pesar de la gran cantidad de dosificaciones existentes para crear morteros con estas características especiales, estos materiales requieren materias primas exclusivas y muy cuidadas, en cuanto a la geometría y la naturaleza de los compuestos. Otro aspecto importante es la relación agua/cemento, que suele ser baja, entre 0.15 y 0.25, para reducir el número de poros capilares y evitar el transporte de gases y líquidos que ataquen al hormigón. (Mella Stappung, 2004)

Por todo ello, es imprescindible controlar los tiempos de fraguado de las mezclas, las resistencias iniciales, así como la trabajabilidad adecuada para evitar problemas en la impresora 3D, también para asegurar la resistencia del elemento conforme va aumentando en tamaño, garantizando capa a capa esta resistencia y capacidad para soportar la inmediata carga colocada. (Gil, 2015)

La arcilla-cemento es la mezcla íntima y homogénea de la arcilla pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua de esta manera se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, prácticamente impermeable, termo aislante y estable en el tiempo, llegando hasta el presente como una verdadera alternativa de solución a la demanda actual de viviendas en los sectores de medianos y bajos recursos (Toirac Corral, 2008).

Las mezclas de arcilla-cemento como material de construcción deben cumplir varios requisitos, entre ellos ser económicas y tener la suficiente durabilidad. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y la suficiente fracción fina que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta masa. (Chiguay, 2007)

Generalmente los suelos aptos para impresoras 3D, son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio 7 excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la trabajabilidad sin que se produzcan agrietamientos por contracción.

Los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico de la arcilla. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad, el límite líquido refleja el punto en que el suelo comienza a fluir como un líquido, al límite plástico se le conoce como un por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico. Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla sino de su tipo y rango admisible para mezclas de arcilla-cemento. Donde el límite líquido es menor a 45% y el límite plástico es menor a 18%. (Uribe, 2015)

Es importante tomar en cuenta la caracterización química de los materiales y de la granulometría respectivamente, con el fin de realizar fácilmente comparaciones entre ellos. Es posible apreciar los altos porcentajes de óxido de sílice en los materiales de origen arcillosos, así como la alta presencia de óxido de aluminio en el metacaolín. En los subproductos del hormigón o mortero se observa la alta presencia de óxido de calcio debido a que su materia prima es el cemento.

En la granulometría se establece que todos los materiales presentan tamaños menores a los 100 mm. Para garantizar la obtención de materiales adecuados, la trabajabilidad propuesta para los morteros es de 150 ± 10 mm medida por el ensayo de consistencia en la mesa de sacudidas, de donde se opta por unificar el porcentaje de sustitución de cemento a través de una dosificación por volumen. (Echeverría Melo, 2014)

Según (Calderón Avendaño, 2012), el tiempo de fraguado considerado para impresoras 3D, es de 15 a 25 minutos, de este modo es importante explicar el proceso entre fraguado y endurecimiento de las mezclas. El fraguado puede definirse como la condición alcanzada por una pasta cementicia, mortero u hormigón, que ha perdido plasticidad, medido en términos de 8 resistencia a la penetración, llegando a adquirir algo de resistencia, mientras que, el endurecimiento consiste en la ganancia de resistencias de una pasta fraguada.

De forma concreta, el tiempo de fraguado es el periodo durante el cual, el cemento y el agua reaccionan químicamente, generando y desprendiendo calor para dar origen a nuevos compuestos, los cuales provocan el posterior endurecimiento y adquisición de las resistencias en la pasta.

El ensayo de determinación del tiempo de fraguado es realizado mediante la aguja de Vicat, pero pueden caracterizarse de forma generalizada por el inicio de la rigidez de la pasta "Inicio de fraguado" y por la pérdida de plasticidad de la pasta "Final de Fraguado".

Según (González de la Cadena, 2016), los súper plastificantes son aditivos que tienen como principal objetivo aumentar la trabajabilidad de las mezclas, reduciendo la relación agua/cemento, sin afectar la resistencia ni otras características de los morteros, por este motivo al introducir súper plastificantes en las mezclas, se consigue reducir la cantidad de agua de amasado hasta el 30%.

Tabla 2 Resumen de datos y propiedades según los materiales

MATERIAL	PROPIEDADES
Arcilla-Cemento	Inicio de Fraguado 15 a 25min Relación agua/cemento 0.15-0.25 Trabajabilidad o consistencia 150 mm.
Suelo-cemento	Limite liquido menor a 45% Limite plástico menor a 18% Límite de contracción de 3% a 6 %.
Meta caolín-cemento	Trabajabilidad 150 ±10 mm. Granulometría de 8,6 % para arenas. Granulometría de 91,4 para finos.

Elaborado por: Autores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de la materia prima se llevó a cabo en 3 zonas del país, las cuales se encuentran en la Mina Cochancay (Sierra), Mina Shirihuan (Costa) y la Mina Santa Clara (Oriente), se escogió estas minas con el fin de obtener muestras de las 3 regiones continentales del país, los mismos que actualmente se encuentran disponibles y en explotación. Además, se utilizó el cemento portland tipo I para la elaboración morteros con las 3 muestras

Luego las muestras de arcillas fueron llevadas hasta el laboratorio de ensayo de materiales, donde se realizaron los análisis físicos, químicos y mecánicos de cada una de las muestras para determinar sus propiedades como granulometría, límite líquido, límite plástico, límite de contracción, contenido de humedad, composición química, tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia a compresión, según procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN, 2010) y American Standard of Testing Materials (ASTM, 2000).

Para la determinación de la granulometría de las muestras se realizó con la ayuda de la norma ASTM D-422 (ASTM, 2000), la cual indica que el método de ensayo se lo realiza por tamizado. Este ensayo permite determinar el porcentaje granulométrico de las partículas con el fin de analizar su tipo y sus propiedades mecánicas.

El contenido de humedad de la arcilla se obtiene colocando la muestra en unos recipientes y se procede a pesarlos para luego colocarlo al horno a una temperatura de 105° C por 24 horas, transcurrido este tiempo se procede a pesar y tabular los datos obtenidos, por último se repite el procedimiento para las 2 muestras restantes

Para la determinación del límite plástico de la muestra, se añade agua y se mezcla completamente en la fuente de porcelana hasta conseguir una pasta homogénea y se toma una porción aproximadamente de 10 g de la muestra y se moldea con ayuda de los dedos y una placa de vidrio, hasta formar un rollo de 3 mm de diámetro, se recoge las porciones desmenuzadas de los rollos de suelo en un recipiente metálico, después se pesa y coloca en el horno por 24 horas, para determinar el contenido de agua, por último se calcula y tabula los datos obtenidos. Repetir el procedimiento para las 2 muestras restantes.

Para la dosificación del mortero se escogió la misma dosificación que se llevó a cabo en la elaboración del súper adobe (Miranda, 2016) en cuanto al porcentaje de suelo y cemento, para saber cuál es la cantidad de agua que se incorporaría en la mezcla se procedió a sacar el contenido de humedad.

- Dosificación mina Cochancay "Cemento Chimborazo". 250 kg de Arcilla – 37,50 Kg de Cemento – 56,09 Kg de agua 13

- Dosificación", Mina Shirahuan "Echeandia". 250 kg de Suelo común – 37,50 kg de Cemento – 60,42 Kg de agua

- Dosificación Mina Santa Clara "vía Puyo - Tena" 250 de Suelo común - 37.5 kg de Cemento – 67,44 Kg de agua

A continuación, se describe el procedimiento de la elaboración de las probetas. Se elaboró probetas de morteros en forma de cubos de 50 x 50 mm, los mismos que serán ensayados a compresión a tempranas edades, como son a 6, 9,12 y 24 horas para lo cual se realizaron 24

morteros para las tres muestras, siendo 12 con aditivo plastificante (plastocrete) y 12 sin aditivo plastificante, repetir el procedimiento para las 24 probetas, a la edad de 6, 9, 12 y 24 horas.

Para medir la trabajabilidad de las mezclas, se toma como referencia la norma INEN 157 (INEN, 2009), el método describe el ensayo que se realiza con el mortero fresco para determinar la consistencia de éste mediante el ensayo de asentamiento y de escurrimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para tener una mejor interpretación de los datos de aquí en adelante a los morteros elaborados con arcilla proveniente de la mina Cochancay se representa como (M1), a los morteros elaborados con la arcilla proveniente de la mina Santa Clara como (M2) y a los morteros elaborados con la arcilla de la mina Shirahuan como (M3).

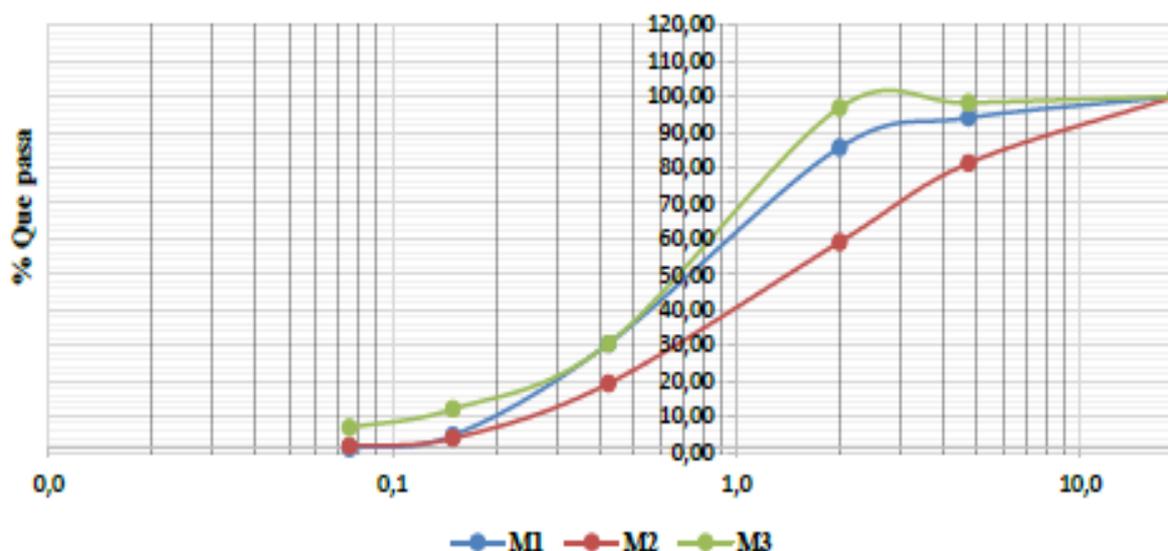
Para determinar la granulometría de las muestras se realizó mediante el ensayo por tamizado, bajo la norma ASTM D-422 (ASTM, 2000). En la siguiente tabla, se muestran los cálculos del ensayo granulométrico de las muestras M1, M2 y M3

Tabla 3 Resumen del ensayo granulométrico

GRANULOMETRIA			
Tamices	M1 % pasa	M2 % pasa	M3 % pasa
3/8"	100	100	100
Nº4	98.20	81.20	94
Nº10	96.80	59.00	85.60
Nº40	30.40	19.20	30.40
Nº100	12.80	3.80	4.60
Nº200	6.80	1.60	1.00
MODULO DE FINURA	2.84	2.35	2.56

Elaborado por: Autores.

Gráfico 1. Demostración grafica del ensayo granulométrico



Elaborado por: Autores.

En la gráfica 1 se puede observar que la muestra M1, tiene un alto porcentaje de módulo de finura en cuanto a las muestra M2 y M3, lo que ayuda a tenga una buena trabajabilidad y una buena textura, además se puede observar que la muestra M1, tiene mayor porcentaje de material fino lo que es malo para el mortero ya que mientras más fino sea el material más retracción existe.

El ensayo de contenido de humedad se realizó bajo la norma INEN 690 (INEN, 2010), y se obtuvo los siguientes resultados después de realizar los procedimientos antes descrito.

Tabla 4 Resumen del ensayo de contenido de humedad

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
M1	M2	M3
2.40	17.40	25.47
% DE HUMEDAD		22.090

Elaborado por: Autores.

En el gráfico 2 se puede observar que el material con mayor contenido de humedad es la muestra M3, aproximadamente con un 26%, aunque no es muy significativo debemos tomar en cuenta al momento de realizar la dosificación, ya que las muestras al no ser corregidos por agua, pierden resistencia y estas muestras por lo general incorporan agua a la estructura.

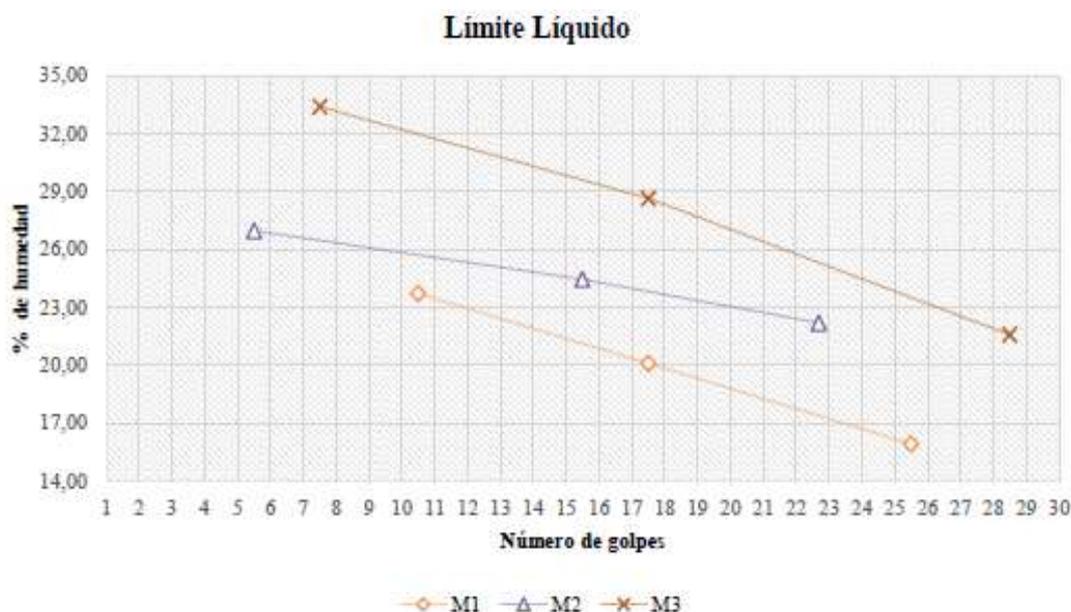
De acuerdo al procedimiento antes descrito por la norma INEN 691 (INEN, 2010), se determinó el límite líquido de las muestras. Obteniéndose el siguiente gráfico:

Gráfico 2 Resumen grafico del ensayo de contenido de humedad



Elaborado por: Autores.

Gráfico 3 Curvas del límite líquido de las muestras

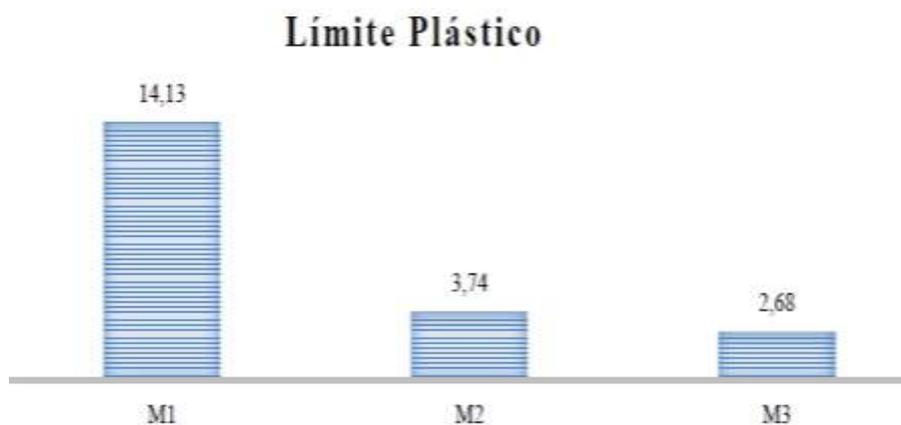


Elaborado por: Autores.

En la grafica 3 se puede observar que la muestra M1 tiene un límite líquido de 17% a los 25 golpes, en cambio la muestra M2 tiene un límite líquido de 21% a la misma cantidad de golpes, y finalmente la muestra M3 tiene un límite líquido de 23,80% a los 25 golpes, es decir las muestras para que sean consideradas como suelos con alto contenido de arcilla deben poseer altos límites líquidos y plásticos, de esta manera se puede deducir que las muestras M2 como M3 son considerados como arcilla-limoso debido a su textura y moderada consistencia, en cambio la muestra M1 se considera como un material limoso.

Después de realizar el procedimiento para el ensayo de limite plástico bajo la norma INEN 692 (INEN, 2010), se obtuvo los siguientes resultados.

Gráfico 4 Limite plástico de las muestras



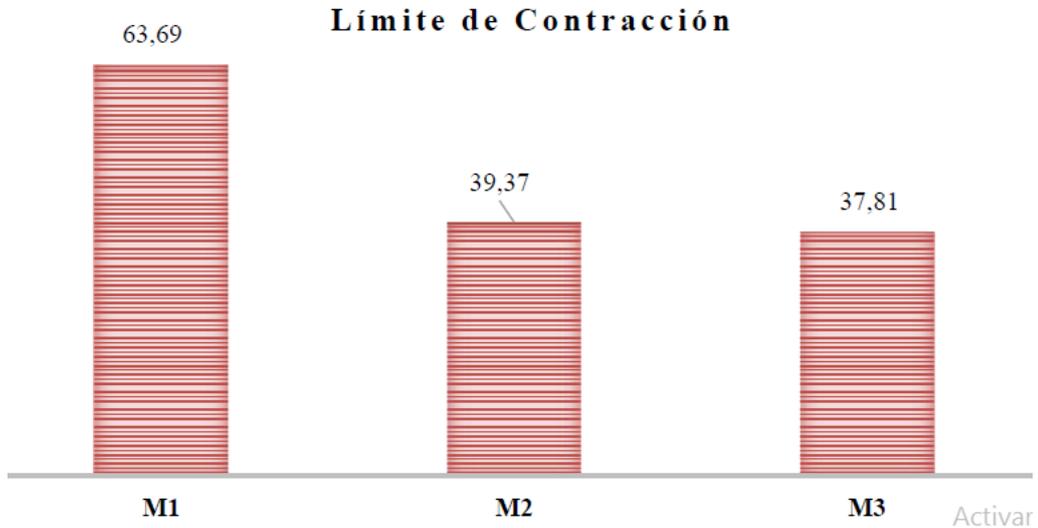
Elaborado por: Autores.

En la grafica 4 se puede observar, que las muestras M1, M2 y M3 poseen límites plásticos bajos, las muestras por ende tienen un índice de plasticidad bajo, la muestra M1 tiene un índice

de plasticidad bajo considerándose como una suelo limoso, pero tiene una buena composición química que le da buen resistencia y trabajabilidad, por otra parte la muestra M2 tiene un índice de plasticidad mayor que la muestra M1 y es considerado como una arcilla limoso por tener porcentajes de límites líquido y plástico bajos esta muestra tienen una resistencia baja, finalmente la muestra M3, tiene un índice de plasticidad superior a las dos muestras anteriores y es también considerado como una arcilla limoso, de baja resistencia.

Después de seguir el procedimiento para determinar el límite de contracción descrito anteriormente, mediante la norma ASTM D-427 (INEN, 2010), se pudo obtener los siguientes resultados. En el anexo 4 y en las tablas 21,22 y 23, muestran los cálculos del ensayo de límite de contracción de las muestras M1, M2 y M3.

Gráfico 5 Limite de contracción de las arcillas



Elaborado por: Autores.

Una de las principales causas de la rotura o fisuras de los morteros es la contracción ya que, si excede del 3 % al 6%, se genera fisuras y pierde el tamaño original.

En el gráfico 5, se puede observar que las muestras M1, M2 y M3, no tienen el porcentaje de límite de contracción establecido, esto es debido a que las muestras se encontraban en estado seco, siendo la muestra M1, con mayor porcentaje de contracción esto también depende de la cantidad de material fino que tenga, ya que a mayor cantidad de suelo fino mayor retracción posee, esto es malo para los morteros ya que puede existir fisuras y baja resistencia.

Además de la resistencia el hierro es considerado un agente colorante más común en las arcillas, resaltando así dos factores que determinan el color como: la cantidad de hierro presente o la presencia de otra sustancia como el titanio y el calcio. Esta propiedad es importante ya que permite controlar las cualidades de trabajo por ejemplo la propiedad plástica de una arcilla puede ser muy diferente dependiendo si el sodio Na o el calcio Ca que posea.

De acuerdo con los criterios definidos en la metodología se realizan los ensayos con el equipo de Vicat de los diferentes morteros, para determinar los tiempos en la que las diferentes pastas comienzan a fraguar. En el gráfico 6, se resumen los distintos morteros formados por diferentes arcillas, con un tipo aditivo, con sus correspondientes tiempos de inicio de fraguado.

Gráfico 6 Tiempo de fraguado de los morteros



Elaborado por: Autores.

Como se puede observar en el gráfico 6, la muestra M1-CA tiene un menor inicio de fraguado, lo que es bueno porque se encuentra en el rango óptimo descrito por la literatura que es de 15 a 25 minutos, esto hace que el mortero tenga buena trabajabilidad y no exista escurrimiento, al igual que la muestra M1-SA tiene un inicio de fraguado considerable porque mucho de estas tecnologías dependen del proceso con el que se vaya a imprimir el material.

Ya obtenidas las muestras M1-CA, M2-CA, M3-CA, M1-SA, M2-SA. Y M3-SA, la evolución de la resistencia a compresión en Mega pascal (Mpa) resultado de ensayar 3 probetas por cada mortero con una cantidad total de 72 morteros (36 para pastas sin aditivo, 12 para M1-SA, M2-SA y M3-SA respectivamente y 36 para pastas con aditivo, 12 para M1-CA, M2-CA, M3-CA). Los resultados obtenidos de cada uno de los morteros ensayados a compresión se muestran en el gráfico 7.

Gráfico 7 Resultados del ensayo de resistencia a compresión



Elaborado por: Autores.

Activar Windows

En cuanto a las resistencias a tiempos largos ensayadas a compresión, las resistencias aumentan conforme pasa el tiempo y la cantidad de acelerador de fraguado que se incorpore lo cual fue de 3%. Obteniendo así que la muestra M1-CA tiene una resistencia de 15,36 Mpa con el acelerador de fraguado y la muestra M1-SA tiene una resistencia de 11,42 Mpa sin acelerador de fraguado.

CONCLUSIONES

- En la tabla 5 se puede observar que el material M1 aproximadamente cumple con los parámetros requerido para ser usados en impresoras 3D, ya que en la determinación del inicio de fraguado excede un rango mínimo de 5 min, esto no quiere decir que sea malo porque todo depende del proceso constructivo que tiene cada tecnología; se determinó que el mortero proveniente de la mina Cochancay (Cemento Chimborazo M1), cumple con los requerimientos o parámetro, de plasticidad, límite líquido, resistencia, trabajabilidad y tiempo de fraguado, lo que hace estimar que dichos morteros tienen características prometedoras como material imprimible.

Tabla 5 Resumen de resultados

PROPIEDADES	IMPRESORAS 3D	M1	M2	M3
Inicio de Fraguado	15 a 25min	30min	50 min	105 min
Trabajabilidad	150mm	180	150	125
Limite liquido	<45%	17	21	24
Limite plástico	<18%	14.13	2.68	3.74
Límite de contracción	3% a 6%	63.69	39.37	37.81
Resistencia		15.36 Mpa	7.30 Mpa	9.71 Mpa

- Un inconveniente común que presentaron todos los moteros ensayados es el límite de contracción o retracción mayor al 3%, debido a que se usó el material seco, lo que hace que cambie sus propiedades para lo que se requiere que el material se encuentre con un contenido de humedad óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

Valenzuela Soto, A., Tiburcio Munivé, G., Sáñez Aguilar, M., & Burgos Flores, D. (2008). Dialnet. Obtenido de Estabilización de un material arcilloso con cal, zeolita y cemento portland para su uso en mampostería.

ASTM. (2000). Análisis Granulometric por tamizado. En A. S. Material.

ASTM. (2006). Determinación del Límite de Contracción. En A. S. Materials.

Bermejo Nuñez, E. B., Galvez Ruiz, J. C., & Fernandez Canovas, M. (2010). Retracción y fluencia de hormigón autocompactante de resistencia moderada. Iberica.

Calderón Avendaño, A. A. (2012). Democratización de la impresión 3D con fotopolímeros.

Cañón Bermúdez, J. D. (2012). Caracterización físico - química y mineralógica de morteros de cal empleados en puentes históricos de arco de ladrillo en la región del alto Cauca (Colombia)

ClarínArq. (22 de marzo de 2017). Clarín.com Arq. Construcciones. Obtenido de Clarín.com Arq. Construcciones: https://www.clarin.com/arq/construccion/impresora-3d-construyo-casa-24-horas-40-barata_0_r1qb2nTjg.html

Dini, E. (21 de abril de 2010). D-Shape: Una enorme impresora 3D. Obtenido de D-Shape: Una enorme impresora 3D: D-Shape_%20Una%20enorme%20impresora%203D%20-%20NeoTeo.

Gómez Quiñonez, D. R., Flores Arambulo, J. R., & Rada Valdivieso, J. A. (2011). Elaboración y uso de Bloques de hormigón y bloques de arcillas en mampostería. Guayaquil.

González de la Cadena, J. F. (2016). Estudio del mortero de pega usado en el cantón cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal.

Miranda, M. (2016). Elaboración de una dosificación para fabricación de superadobe, con ensacados de yute, cabuya y análisis comparativo de resistencia a compresión con mampuesto de ladrillo del cantón chambo, provincia de Chimborazo. Riobamba.

Nime Ramírez, F. E., Bravo Cabrejos, J. A., Mejía Santillán, M. E., & Silva Valdivieso, D. (2011). Caracterización mineralógica de la fracción arcillosa de vertidos de la parcela de la Universidad Nacional de Piura, san Lorenzo, Piura.

Rodríguez, C. (2013). Los morteros, control de calidad.

Técnico, B. (2014). Bentónica Sódica y Cálctica.

Toirac Corral, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción.

Torres Remón, R. (2016). Diseño de hormigón para impresoras 3D.

UCEM. (2016). Procedimiento para la Determinación de la Humedad. En C. Chimborazo.

Uribe, R. (2015). Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador. Quito: Revista Politécnica.

Vazhnov, A. (2016). Impresión 3D.

Villalaz, c. (2011). Google books. Obtenido de mecánica de suelos y cimentaciones