



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ELABORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE
HORMIGÓN Y LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE
POTABILIZACIÓN

AUTOR

Gustavo Sebastián Haro Alulema

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ELABORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A PARTIR DE
HORMIGÓN Y LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE
POTABILIZACIÓN

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en
Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Marco Vinicio Briceño León

Autor

Gustavo Sebastián Haro Alulema

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Elaboración de materiales compuestos a partir de hormigón y lodos provenientes de una planta de potabilización, a través de reuniones periódicas con el estudiante Gustavo Sebastián Haro Alulema, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Marco Vinicio Briceño León

Máster en Energías Renovables

CI: 1715967319

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Elaboración de materiales compuestos a partir de hormigón y lodos provenientes de una planta de potabilización, del estudiante Gustavo Sebastián Haro Alulema, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



Santiago Daniel Piedra Burgos

Master of Science in Hydro Science and Engineering

CI: 1715384150

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Gustavo Sebastián Haro Alulema

CI: 1721585832

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi desarrollo intelectual y emocional, al inculcarme los valores indispensables para desarrollarme como una persona de bien.

A mis hermanos, por contar con ellos en los instantes más difíciles, darme alegría y conocimiento para seguir adelante, mi novia, por ser mi alegría y compañera de viaje en momentos buenos y malos, felices y tristes además apoyarme en mis decisiones más locas, mi familia, amigos y profesores.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por brindarme todo su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, por celebrar las victorias y estar juntos en las derrotas.

RESUMEN

Con el paso de los años, la dotación de agua potable y su tratamiento, se ha ido desarrollando para evitar la generación excesiva de residuos y propiciar su utilización en diversas áreas. En el presente estudio se analizó el uso de lodo residual proveniente de una planta de tratamiento de agua potable en el área de la construcción (materiales de hormigón).

Se evaluó el comportamiento del material de hormigón con diferentes porcentajes de lodo (0.5%, 2% y 4%) a través de pruebas de resistencia a la compresión y tracción, también se contó con un tratamiento sin lodo (Blanco). La ejecución de estos ensayos se realizó en el apoyo del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador.

Como pretratamiento de los lodos, estos fueron secados al sol, triturados y tamizados hasta obtener partículas de menor tamaño (requeridas para los ensayos).

Los resultados arrojados de los ensayos de resistencia a la compresión y tracción fueron analizados estadísticamente y se concluyó que en todos los ensayos el Blanco discrepó en gran proporción de los valores teóricos de resistencia, esto puede deberse a la calidad de los agregados, cantidad y calidad de agua.

El tratamiento que contenía 2% de lodo presentó mayor eficacia en las pruebas de resistencia a la compresión, a pesar de que en los ensayos de resistencia a la tracción este tratamiento no fue el que alcanzó el mayor valor, no se encontraba alejado en mayor proporción del Blanco y el valor teórico. Por lo tanto, se podría emplear un 2% de lodo en la conformación de materiales de hormigón para procurar la disposición adecuada de residuos provenientes del tratamiento de agua potable.

Para futuras investigaciones se recomienda un manejo adecuado del material en los ensayos de resistencia y ampliar el rango de los porcentajes de lodo a ser analizado.

ABSTRACT

Over the years, the provision of drinking water and its treatment has been developed to avoid excessive generation of waste and promote its use in various areas. In the present study, the use of residual sludge from a drinking water treatment plant in the construction area (concrete materials) was analyzed.

The behavior of the concrete material with different percentages of sludge (0.5%, 2% and 4%) was evaluated through tests of resistance to compression and traction, and a treatment without sludge (White) was also available. The execution of these tests was carried out in support of the Materials and Models Testing Laboratory of the Faculty of Engineering, Physical Sciences and Mathematics of the Central University of Ecuador.

The sludge was sun dried, crushed and sieved until obtaining smaller particles (required for the tests).

The results obtained from the compressive and traction tests were statistically analyzed and it was concluded that in all the tests the Blank disagreed to a great extent with the theoretical values of resistance, this may be due to the quality of the aggregates, quantity and quality of water.

The treatment containing 2% sludge was more effective in the compression resistance tests, despite the fact that in the traction tests this treatment was not the one that reached the highest value, it was not distant in a greater proportion of White and theoretical value. Therefore, 2% sludge could be used in the shaping of concrete materials to ensure the proper disposal of waste from drinking water treatment.

For future investigations, it is recommended to handle the material adequately in the resistance tests and to extend the range of the percentages of sludge to be analyzed.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Alcance	4
1.4. Justificación	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Potabilización del agua	5
2.1.1. Tratamiento convencional de potabilización.....	6
2.2. Gestión del agua potable en Ecuador	8
2.2.1. Gestión del agua potable en Urcuquí	9
2.3. Lodos residuales del proceso de potabilización.....	10
2.3.2. Tratamiento convencional de los lodos.....	10
2.3.3. Secado	13
2.3.4. Disposición final.....	13
2.3.5. Innovaciones en el tratamiento de los lodos.....	13
2.4. Hormigón.....	14
2.4.1. Componentes del hormigón	15
2.4.2. Normativa Nacional e Internacional.....	16
2.4.3. Ensayos de resistencia a la compresión.....	17
3. METODOLOGÍA.....	18
3.1. Diagrama de procesos	18
3.2. Toma de muestras de lodos	18
3.3. Determinación de la cantidad de materia orgánica.....	19
3.3.1. Sólidos sedimentables.....	19
3.3.2. Sólidos totales	20
3.3.3. Sólidos volátiles	20
3.4. Tratamiento de los lodos	21

3.4.1.	Secado de los lodos	21
3.4.2.	Triturado y tamizado de lodos	21
3.5.	Pruebas de resistencia a la compresión y tracción	23
3.5.1.	Dosificación de la mezcla.....	23
3.5.2.	Secado y tamizado de agregados	24
3.5.3.	Elaboración de cilindros de hormigón.....	24
3.5.3.1.	Determinación del asentamiento de la mezcla	24
3.5.4.	Desmoldado y curado.....	27
3.6.	Determinación de la resistencia a la compresión	27
3.7.	Determinación de la resistencia a la tracción	29
4.	RESULTADOS	30
4.1.	Sólidos totales y volátiles.....	30
4.2.	Asentamiento de la mezcla	30
4.3.	Resistencia a la compresión	31
4.4.	Resistencia a la tracción	33
5.	DISCUSIÓN	34
5.1.	Análisis de datos teóricos vs datos experimentales.....	34
5.1.1.	Resistencia a la compresión.....	34
5.1.2.	Resistencia a la Tracción	36
5.2.	Análisis estadístico.....	37
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
6.1	Conclusiones	43
6.2	Recomendaciones	45
	REFERENCIAS	46
	ANEXOS	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En las plantas potabilizadoras de agua, hasta hace 10 años aproximadamente, se proporcionaba tratamiento únicamente al agua, sin dar importancia a la gestión de los lodos producidos durante el proceso de potabilización (Ramírez, 2008). En la mayoría de los casos, los lodos resultantes del proceso de potabilización son arrojados como efluentes directos al cauce del río cercano a la Planta Potabilizadora. En otras ocasiones, los clarificadores (estructuras que contienen los lodos generados) se limpian y los lodos se eliminan en terrenos abiertos cercanos (Ahmad, Ahmad, & Alam, 2016).

El tratamiento de lodos generados en el proceso de potabilización del agua es un tema que ha sido abordado desde inicios del siglo XXI. Sin embargo, a pesar de su corta trayectoria en el campo de la investigación, en la actualidad existen varios estudios que evidencian diversos usos asignados a dichos lodos (Rodríguez, 2013). Hoy en día, se pretende asignar un tratamiento a los lodos provenientes de las actividades de potabilización con la finalidad de devolver al medio ambiente un efluente sin generar contaminación (o sustancias netamente antrópicas) o enviar el agua a la cabecera del tratamiento de la planta potabilizadora junto al agua bruta (Ramírez, 2008).

Algunos de los procesos más empleados en el tratamiento de lodos residuales de plantas de potabilización son el almacenamiento en lagunas por determinados períodos, espesamiento, incineración y deshidratación (BCO'Kelly, 2010). Una vez aplicado uno de estos tratamientos, los lodos son colocados en su disposición final.

Con respecto al almacenamiento de lodos en lagunas, este tratamiento pretende reducir la cantidad de materia orgánica y microorganismos patógenos presentes en los lodos (Feria Diaz & Martinez Acosta, 2014).

Otros métodos utilizados para tratar los lodos residuales de un proceso de potabilización, son la incineración, deshidratación y espesamiento, en todos estos casos el objetivo primordial es la reducción de volumen del lodo y la eliminación de humedad. En el primer tratamiento, las cenizas residuales de la incineración en ocasiones son usadas junto a agregados finos en la construcción (Martínez, 2012).

En los procesos de deshidratación y espesamiento, se alcanza una reducción de humedad entre 30% y 40% (Gutiérrez, Ramírez, Rivas, Linares, & Paredes, 2017).

Otra alternativa para el uso de estos residuos, radica en la recuperación del aluminio contenido en ellos mediante la acidificación del medio, reportándose porcentajes de recuperación de aluminio mayores al 90% (G.R.Xu, 2009). Uno de los tratamientos más empleados para el tratamiento de lodos provenientes de una planta potabilizadora, está la sedimentación mediante el uso de polímeros floculantes (Verrelli, Dixon, & Scales, 2010; Zhang, Huang, Li, & Tan, 2010).

Finalmente, en los últimos años se ha buscado la forma de asignarle un nuevo uso a los lodos provenientes de actividades de potabilización. En ese sentido, una de las opciones desarrolladas ha sido el uso de dichos lodos para la elaboración de materiales cementantes como morteros o usando el lodo como reemplazo parcial de componentes utilizados para procesos de construcción como ladrillos o bloques (Orellana, 2015). En América Latina, especialmente en Colombia y Ecuador, se han realizado estudios enfocados en esta alternativa de uso de los lodos de una planta potabilizadora, presentando resultados en donde se evidencia que la arena podría ser potencialmente reemplazada por los lodos en cuestión (Torres, Hernández, & Paredes, 2012), además se encontró que los ladrillos fabricados con adiciones de 10% de lodos residuales presentan mayor resistencia que los ladrillos sin adiciones de lodos (Orellana, 2015).

La necesidad del tratamiento de los lodos provenientes de estos procesos radica en que, a pesar de que su contenido es principalmente inorgánico, al ser

descargado en las corrientes naturales puede ir formando depósitos o “bancos de fangos” en las partes menos corrientosas, de igual manera, se puede incrementar la turbiedad y el color del cuerpo receptor (Ramírez, 2008). Por otro lado, la presencia de aluminio en los lodos puede ser un factor que propicie el desarrollo de anomalías en las raíces de algunas plantas y promueva la deficiencia de fósforo debido a que la presencia de aluminio impide una adecuada asimilación de fósforo por parte de las plantas (Torres et al., 2012).

Durante la última década, se han desarrollado varias investigaciones que analizan los beneficios y limitantes del uso de lodos provenientes de las plantas potabilizadoras de agua en materiales de construcción. En algunas de estos estudios se menciona que el uso de lodo deshidratado proveniente de plantas de potabilización de agua en la elaboración de materiales de concreto (en especial bloques de concreto), generaría una disminución en el costo de estos materiales de construcción (Kaoso, 2010). Por otro lado, esta práctica evita la contaminación ambiental generada cuando se vierten los lodos directamente a un cauce hídrico. Adicionalmente, se sugiere continuar con la investigación referente a la dosificación y a los tratamientos previos asignados a los lodos provenientes de plantas de potabilización (Torres et al., 2012).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Elaborar materiales compuestos de hormigón y lodos provenientes de una planta de potabilización de agua del Cantón San Miguel de Urququí.

1.2.2. Objetivos específicos

- i. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de todos los tratamientos del material compuesto de hormigón.

- ii. Establecer la dosificación más eficiente de lodos, cemento y agua en el material de hormigón.

1.3. Alcance

El presente estudio buscó la identificación de la mejor dosificación de lodos, cemento y agua para la elaboración de un material compuesto de hormigón.

Para esto se elaboraron materiales compuestos de hormigón, en base a cinco tratamientos (0.5%, 2% y 4% de lodo) en el Departamento de ensayo de Materiales y Modelos de la Universidad Central del Ecuador.

Una vez obtenido el material compuesto, se realizaron ensayos para verificar su cumplimiento con estándares básicos referentes a este tipo de material. Dichas pruebas fueron de absorción, densidad y de compresión simple.

1.4. Justificación

Tras el proceso de potabilización, que implica principalmente coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, se genera una gran cantidad de residuos conocidos como lodos que son devueltos al cuerpo hídrico sin darles algún tratamiento o arrojados en terrenos cercanos (Ahmad et al., 2016). Uno de los principales impactos generados por esta mala práctica ambiental, es la alteración de varias propiedades de los cuerpos hídricos. Sin embargo, los escasos recursos en las instalaciones de los países latinoamericanos ha limitado el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de estos residuos (Rodríguez, 2013).

En ese sentido, el presente estudio pretende aportar al proceso de tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización. Aportando, de esa manera a la reducción de los impactos ambientales causados en los cuerpos hídricos por la recepción de materia inerte (sólidos) y aluminio presentes en los lodos residuales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Potabilización del agua

La potabilización es un proceso destinado a la purificación del agua con el fin de hacerla apta para el consumo humano o uso industrial. Para realizar este proceso, se capta agua natural proveniente de fuentes superficiales (ríos, lagos, etc) y/o fuentes subterráneas. Las características físico químicas del agua captada determinan las operaciones del proceso de potabilización (idreco, 2019). Existen diversos tipos de tratamiento para la potabilización del agua. La Figura 1 resume cada uno de estos tratamientos.

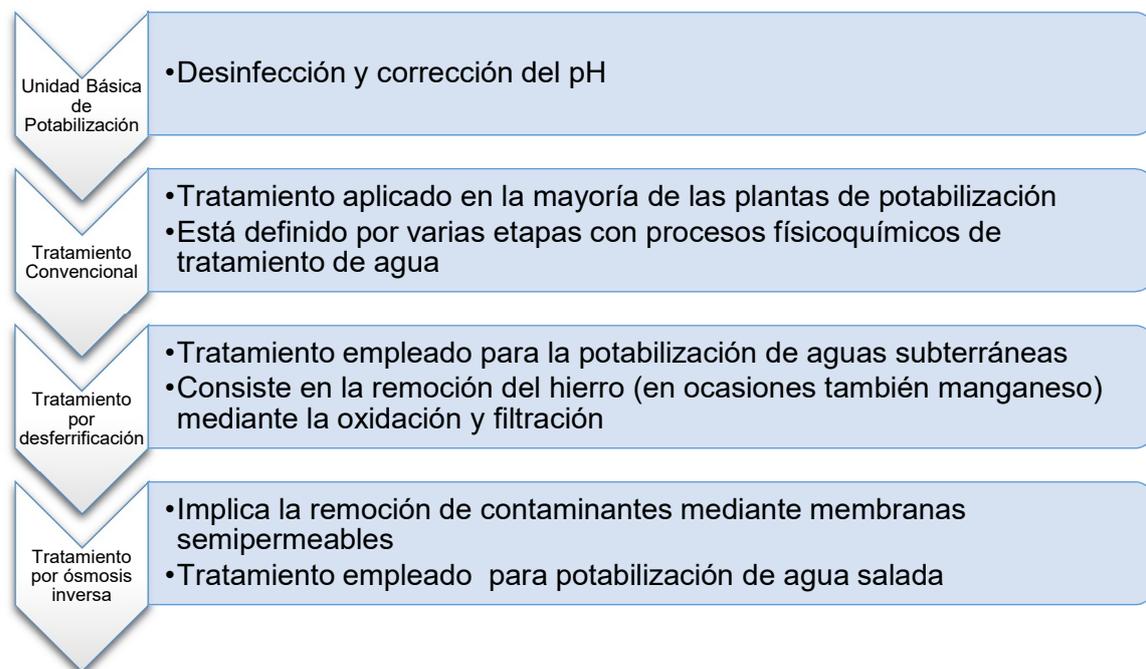


Figura 1. Tipos de tratamiento para potabilización del agua

Tomado de (Obras Sanitarias del Estado (OSE), 2019)

2.1.1. Tratamiento convencional de potabilización

El tratamiento convencional de potabilización se basa en las operaciones de coagulación, floculación, sedimentación o decantación, filtración y desinfección (Taersa, 2018).

2.1.1.1. Coagulación – Floculación

Este sistema implica la adición de químicos y la mezcla del agua, de esa manera se propicia la desestabilización de la carga negativa de las partículas y el material coloidal. Los coagulantes introducen grandes cantidades de cargas positivas en el agua, neutralizando a las partículas con carga negativa. Estas partículas neutralizadas van uniéndose hasta incrementar su tamaño y formar los llamados *flóculos* o *flocs* (Taersa, 2018).

Los coagulantes más comunes empleados en las plantas de potabilización son sales de aluminio y hierro. Este proceso se lleva a cabo mediante una mezcla rápida y es de gran importancia, pues de su eficiencia dependen las siguientes operaciones (Barrenechea, 2004).

Los *flocs* son enviados al proceso de floculación en donde se cuenta con una mezcla lenta dando paso a la formación de partículas de mayor tamaño. Las unidades de floculación son creadas para tener un tiempo de retención de entre 15 a 45 minutos (Taersa, 2018).

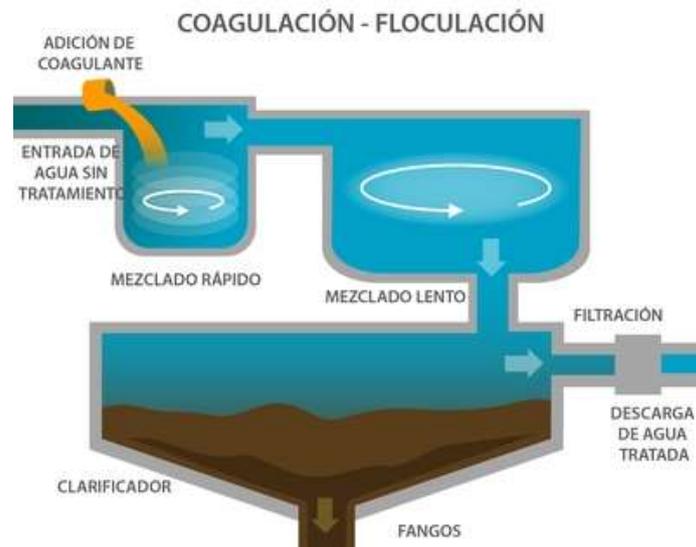


Figura 2. Operaciones de coagulación floculación y sedimentación
Tomado de (Academia Nacional de Ciencias, 2007).

2.1.1.2. Sedimentación

Esta operación implica la remoción de las partículas en suspensión por efecto de la gravitación (estas partículas deberán tener peso específico mayor al fluido en el que se encuentran inmersos). Este proceso se realiza en decantadores que pueden ser rectangulares, cuadrangulares o redondos, y da como resultado la formación de lodos. Por lo general el tiempo de retención en los decantadores es de aproximadamente 40 minutos y estas estructuras cuentan con vertederos que permiten que la capa de agua con menor turbiedad pueda continuar al siguiente proceso (filtración) (CEPIS, 1984; Taersa, 2018). En la Figura 3 se observa un ejemplo del proceso de sedimentación.



Figura 3. Proceso de sedimentación

Tomado de (Taersa, 2018)

2.1.1.3. Filtración

Este proceso es empleado para eliminar los sólidos suspendidos y coloidales que han persistido en los anteriores procesos (arcilla, arena, bacterias, virus, carga orgánica y *flocs*). Existen diversos mecanismos de filtración, la mayoría de plantas de potabilización emplea medios granulares de filtración compuestos por grava, arena y/o antracita (Maldonado, 2000; Taersa, 2018).

La filtración lenta de arena consiste en un filtro que contiene una cama de arena fina (90 – 120 cm de profundidad) sobre una capa de aproximadamente 30 cm de grava y un sistema de drenajes. Esta técnica es de bajo costo, posee una eficiencia del 99.9% de remoción de sólidos y su operación es fácil. Sin embargo, su uso no es adecuado para agua con altos niveles de turbiedad y se requiere una gran superficie para su operación pues el flujo de tratamiento es bajo (National Environmental Services Center, s.f.).

2.2. Gestión del agua potable en Ecuador

Tomando en cuenta el área urbana, en el 2016 todos los GAD Municipales brindaron el servicio de agua para consumo cubriendo la totalidad de esta zona. Por otro lado, en el área rural, en el mismo año cerca del 72% de municipios prestaron el servicio de agua potable y el 28% fue cubierto por juntas de agua.

En el Ecuador, casi el 86% de municipios poseen sistemas de tratamiento de agua potable, el 13% no cuenta con este tipo de sistemas y el porcentaje restante de municipios compra agua (Terán & Cando, 2016).

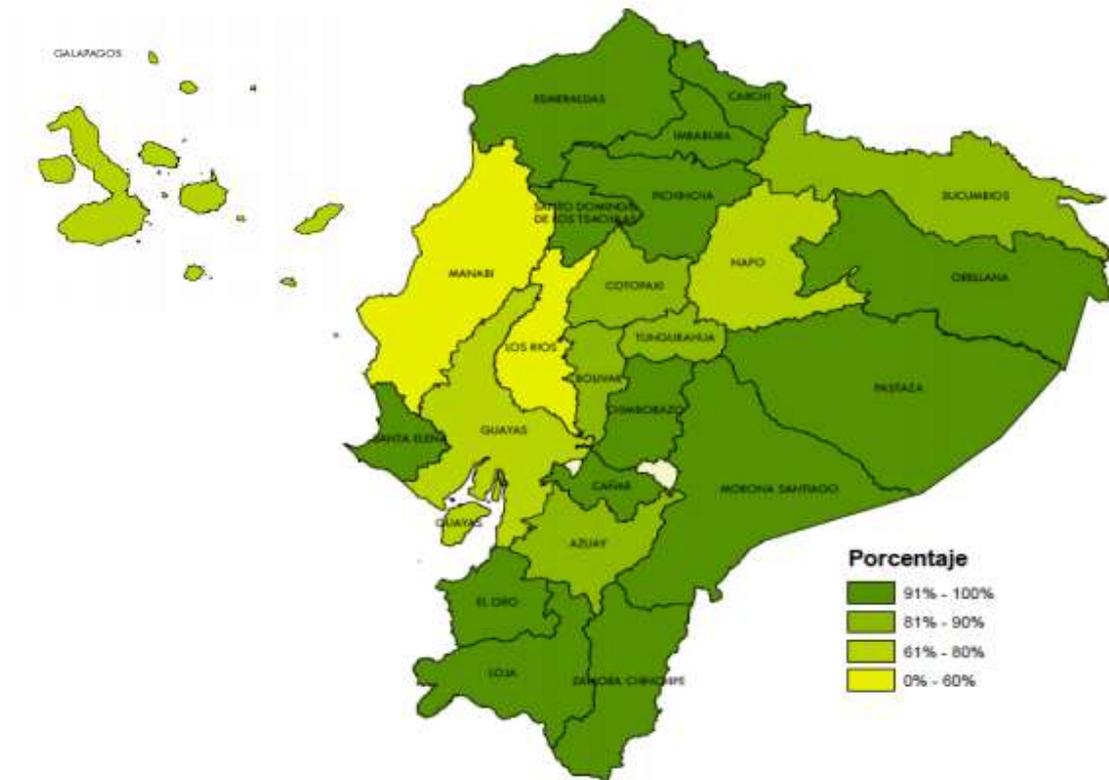


Figura 4. Porcentaje de sistemas de tratamiento de agua potable a nivel provincial

Tomando de (Terán & Cando, 2016)

Aproximadamente el 70% de los habitantes cuentan con acceso a agua apta para el consumo humano (es decir, sin contaminación fecal y/o química) y el 22% accede a este servicio de manera básica. En los dos casos, la población recibe agua a partir de una fuente mejorada (INEC, 2017).

2.2.1. Gestión del agua potable en Urququí

El proceso de la Planta de potabilización de Urququí inicia con la captación del agua cruda, posteriormente se mide el pH y este es regulado mediante cal con mineral. Después se dosifica el policloruro de aluminio (PAC), como agente

coagulante, el agua se dirige a la canaleta parshall e inicia los procesos de floculación, sedimentación, oxigenación, filtración y finalmente, dosificación de hipoclorito de sodio.

De acuerdo a los análisis realizados en el presente estudio, el lodo residual contiene un 0.74% de sólidos totales.

2.3. Lodos residuales del proceso de potabilización

2.3.1. Características de los lodos

Las características de los lodos generados en una planta de potabilización pueden variar en el tiempo de acuerdo, principalmente, a la calidad de agua que ingresa y el proceso de coagulación del sistema (Gang, Ting-lin, Zhan-peng, & Chi, 2010; Spinosa, 2013).

El material seco presente en los lodos es aproximadamente 0.5% (5 g/l). Sin embargo, este porcentaje puede variar de acuerdo con las características del agua y su tratamiento. Este material está conformado principalmente por sólidos en suspensión, sustancias resultantes de los coagulantes (por ejemplo hidróxidos de aluminio), sustancias insolubles utilizadas en el tratamiento (como carbón activado) y materia orgánica disuelta (Ramírez, 2008).

La mayor cantidad de lodos se generan a partir de la operación de sedimentación (Gutiérrez et al., 2017). Sin embargo, pueden generarse lodos provenientes de actividades de lavado de estructuras (como los filtros) (Ramírez, 2008).

2.3.2. Tratamiento convencional de los lodos

El tratamiento de los lodos provenientes de una planta de potabilización, se ha desarrollado tomando en cuenta las sustancias que han sido desechadas en este material durante el proceso (en todas las operaciones, excepto en la coagulación) como arena, colides, microorganismos, entre otros (Cheng, et al,

2012). Algunos tratamientos usados para los lodos residuales de la potabilización son el almacenamiento en lagunas, incineración y disminución de su humedad (entre 30% a 40%) para trasladarlo a su sitio de disposición final (BCO'Kelly, 2010; Ferreira-Filho, et al, 2013; Zhao, 2003). Sin embargo, la dificultad y altos costos de su manejo y transporte, propicia que su disposición final sea en cauces hídricos cercanos (Walsh, et al, 2008) generando alteraciones medioambientales y en la salud humana (Torres et al., 2012; Victoria, 2013).

El objetivo primordial del tratamiento de lodos residuales de una planta de potabilización es reducir su volumen para facilitar su manejo y transporte hacia su disposición final. En ese sentido, se pueden aplicar tratamientos como: acondicionamiento químico, tanques de espesamiento o deshidratación (Martínez, 2012).

2.3.2.1. Acondicionamiento químico

Antes de realizar el proceso de acondicionamiento, se aplica una homogenización a los lodos para asegurar que las sustancias presentes en el material se unifiquen. Posteriormente, se procede al acondicionamiento químico mediante el uso de sustancias como cloruro férrico, cal o polímeros orgánicos que propician la separación entre la fase sólida y líquida de los lodos (Martínez, 2012).

2.3.2.2. Espesamiento

El espesamiento consiste en eliminar una cantidad determinada de agua presente en los lodos. Para alcanzar este objetivo se pueden llevar a cabo los siguientes tipos de tratamientos:

2.3.2.2.1. Espesamiento por gravedad

Este tratamiento consiste en la sedimentación de los sólidos presentes en el lodo por acción de la gravedad. Para este proceso se emplean decantadores circulares o rectangulares que contienen estructuras en la parte inferior para

recolectar la fase sólida (lodo espesado) y estructuras en la parte superior para recuperar el agua clarificada (Ramírez, 2008).

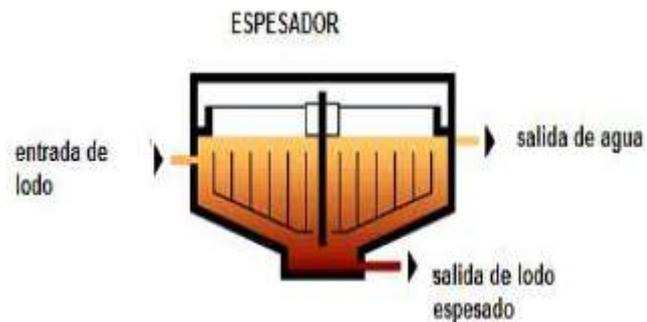


Figura 5. Espesamiento por gravedad

Tomado de (Ramírez, 2008)

2.3.2.2.2. Espesamiento por flotación

Este tratamiento se basa en la capacidad de flotación de los flocúlos al adherirse a burbujas de aire, para lograr este proceso se presurizan los lodos con aire o agua clarificada. Finalmente, los lodos espesados (que se encuentran en la parte superior de la estructura) son captados (Aznar & Cabanelas, s.f.).

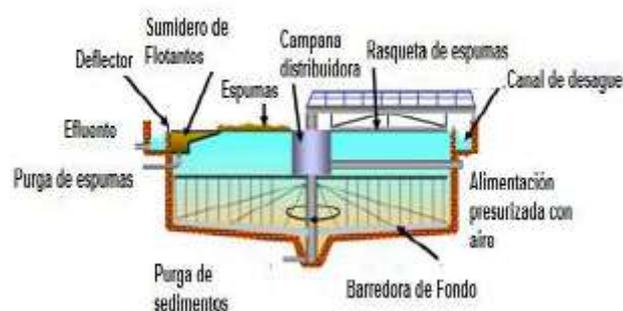


Figura 6. Sistema de espesamiento de lodos por flotación

Tomado de (Aznar & Cabanelas, s.f.)

2.3.2.2.3. Deshidratación

Esta operación pretende reducir el volumen de los lodos mediante la disminución de su porcentaje de humedad, mediante técnicas naturales o mediante técnicas avanzadas, en este último caso, el tiempo de tratamiento es menor. Sin embargo,

se emplea una cantidad menor de lodos en cada lote tratado e implica un mayor costo.

Las técnicas de deshidratación más utilizados son: secado natural, lechos de secado, centrifugación, filtros al vacío, filtros prensa y filtros banda (Garcés, Díaz, & Dellepiane, 2004).

2.3.3. Secado

Posteriormente al espesamiento de lodos se realizó el secado de este material ya sea por convención o radiación. En el primer caso, se emplea aire caliente para secar los lodos residuales entrando en contacto en un tambor o cinturón de secado (Lentech, s.f.). Por otro lado el método por radiación implica el uso de diferentes tipos de radiación como solar o elementos infrarrojo (Martínez, 2012).

2.3.4. Disposición final

La última operación asignada a los lodos residuales de una planta de potabilización es su disposición final. En la mayoría de los casos se transportan los lodos hacia lotes vacíos y canteras ya explotadas. Adicionalmente, se pueden realizar tratamientos de compostaje, elaboración de estructuras cerámicas como ladrillos, o la recirculación del material (Martínez, 2012).

2.3.5. Innovaciones en el tratamiento de los lodos

En la industria del tratamiento de agua para consumo humano o aguas residuales, el tratamiento de coagulación es una de las operaciones más importantes. La coagulación, genera una gran cantidad de sólidos (lodos) que son descargados, por lo general, en cuerpos hídricos causando alteraciones en la biota del medio debido a alteración de material sólido y presencia de metales pesados en él. En ese sentido se han desarrollado formas de re utilizar los lodos generados en los proceso de potabilización (Rasheed & Kadhum, 2015).

Uno de los usos alternativos más comunes asignados a los lodos residuales desde hace varias décadas es la producción de materiales construcción (Lubarski, Levlin, & Koroleva, 1996), reemplazando en diferentes proporciones la cantidad de arcilla empleada en dichos materiales y reduciendo las actividades mineras necesarias para la extracción de este material de construcción.

Por otro lado, los lodos residuales han sido empleados para la aplicación a suelos y cultivos. La presencia de hierro y manganeso en este material residual permite su aplicación en suelos sódicos (con la cantidad suficiente de agua y un buen sistema de drenaje), propiciando un nivel de intercambio iónico con el sodio del suelo para mejorar su estructura y permeabilidad (Ibarra, Rangel, Carrasco, & Alcaraz, 2010).

Además, los lodos residuales pueden ser empleados como abono pues cuentan con altas cantidades de micronutrientes. Sin embargo, su baja cantidad de macronutrientes puede verse como una limitante para el crecimiento de las plantas, por lo que se puede aplicar el lodo residual en conjunto con un fertilizante químico, siempre y cuando se lleve un control de la concentración de aluminio (contenido en los lodos) en las plantas (en caso de que sean destinadas a consumo humano) (Ruiz, 2011).

2.4. Hormigón

El hormigón es un material de construcción compuesto por un aglomerante (cemento), determinadas fracciones de un agregado determinado (arena, grava, gravilla), agua y ciertos aditivos. El uso de este material se ha incrementado debido a sus propiedades de maleabilidad, adhesión, poco tiempo para fraguar y rápido endurecimiento. Generalmente, el hormigón es empleado para la construcción de pavimentos y estructuras de edificios (UMACON, 2016).

En las tablas a continuación, se presentan las dosificaciones adecuadas de materiales para distintas resistencias de hormigón.

Tabla 1.

Dosificación de Componentes de Hormigón con TMA 20 mm

Hormigón: Dosificación de componentes (TMA** 20 mm)				
Resistencia (kg/cm²)	Cemento (quintal)	Arena (parihuela*)	Ripio (parihuela*)	Agua (litros)
100	1	5.3	5.6	57
150	1	3.9	4.6	48
200	1	2.8	4.2	38
250	1	2.5	3.5	33
300	1	1.8	3.2	24
*1 parihuela = 30*30*30 cm = 0.027 m³				
**TMA = Tamaño Máximo de Agregados				

Tomado de (Rivero, 2008).

Tabla 2.

Dosificación de Componentes de Hormigón con TMA 40 mm

Hormigón: Dosificación de componentes (TMA** 40 mm)				
Resistencia (kg/cm²)	Cemento (quintal)	Arena (parihuela*)	Ripio (parihuela*)	Agua (litros)
100	1	4.9	6.7	57
150	1	3.9	6.0	48
200	1	2.8	5.3	38
250	1	2.5	4.6	33
300	1	1.8	3.9	24
*1 parihuela = 30*30*30 cm = 0.027 m³				
**TMA = Tamaño Máximo de Agregados				

Tomado de (Rivero, 2008).

2.4.1. Componentes del hormigón

2.4.1.1. Áridos finos

Los agregados finos o áridos finos provienen de canteras, ríos, excavaciones, y pozos secos; también son conocidos como polvo de piedra o arena y comprende el mayor peso del producto final dentro del hormigón (Baquilema, 2018).

Este material se obtiene de un proceso de trituración y cribado de roca (Laboratorio Nacional de Vialidad, 2015), con este proceso se puede seleccionar su granulometría por su composición y de esta manera el agregado debe tener un tamaño nominal máximo de 4.75mm con características similares, además debe ser un material inerte. Adicionalmente, se debe observar el color del agregado, ya que un color oscuro es sinónimo de alta carga orgánica, por lo que en primera instancia, tiene que ser rechazado y si esto ocurre el agregado tiene que pasar la prueba de mortero (Ministerio de Economía de Guatemala, 2007).

2.4.1.2. Áridos gruesos

Los áridos o agregados gruesos son más conocidos como ripio, esta roca se obtiene de minas. El ripio es molido en diámetros distintos, se quitan las impurezas existentes en el material y se clasifica de acuerdo a la naturaleza, origen, diámetro y forma (Baquilema, 2018).

2.4.2. Normativa Nacional e Internacional

ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones dedicadas a la elaboración de normas empleadas y aceptadas mundialmente en temas como metales, pinturas, plásticos, textiles, medio ambiente, construcción, entre otros. 35 miembros de ASTM en más de 125 países han contribuido a la creación de más de 12,000 normas (Asociación Española para la Calidad, s.f.).

En cuanto al ámbito de la construcción las normas internacionales ASTM pretenden cubrir temas como el desempeño y calidad de materiales empleados en la construcción de edificios y caminos. Para la ejecución del presente estudio se emplearon dos normas específicas ASTM: ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”, ASTM C39 “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto” y ASTM C496 “Método de Prueba Estándar para

determinar la resistencia a la tracción en especímenes cilíndricos de concreto” (Enright, 2009).

Por otro lado, la normativa ecuatoriana para hormigón se basa en las normas técnicas ecuatorianas emitidas por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, específicamente, en este estudio fue empleada la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1573 “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico”.

2.4.3. Ensayos de resistencia a la compresión

Para el caso del hormigón, estos ensayos son empleados para determinar la calidad de material y establecer que la mezcla de hormigón sea la adecuada de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Estas pruebas se realizan en cilindros de hormigón elaborados en base a la norma ASTM C31 y la norma ASTM 39 (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2007).

El ensayo de resistencia a la compresión se basa en que la probeta (o cilindro) se comprime aplicando una carga de compresión uniaxial a una velocidad de carga determinada ($0.25 \pm \text{MPa/s}$). Finalmente, al dividir la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo para el área de la sección transversal del cilindro se obtendrá la resistencia a la compresión (Universidad de Costa Rica, 2011).

3. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de procesos

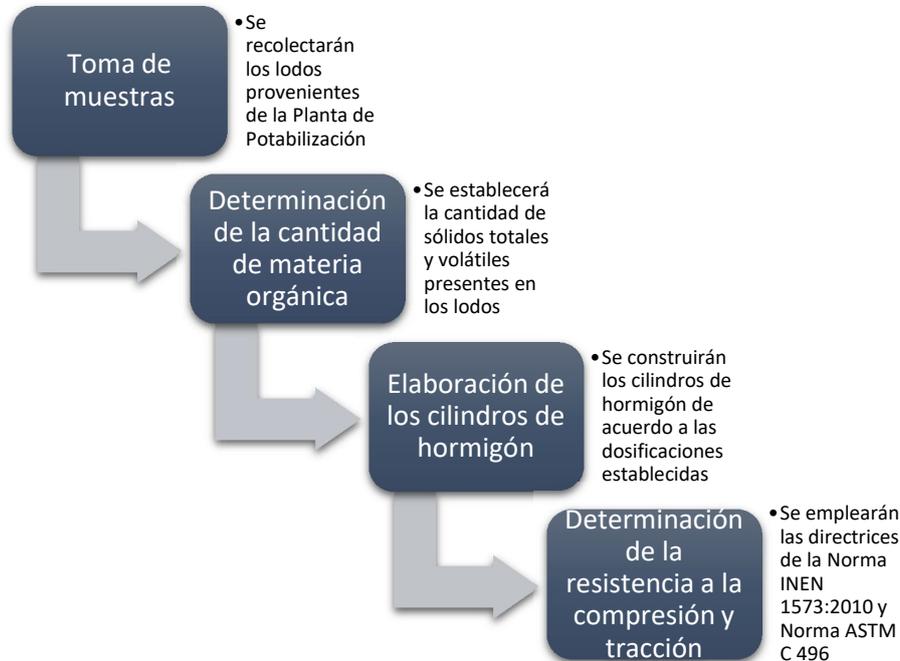


Figura 7. Diagrama de procesos a realizarse durante el presente estudio

3.2. Toma de muestras de lodos

La recolección de muestras de lodos se realizó utilizando 10 baldes de 18 litros como se puede apreciar en la Figura 8. Cada muestra fue recolectada directamente del efluente de la planta potabilizadora.

Las descargas del efluente de la planta potabilizadora se realizan cada 2 horas comenzando desde las 8:00 hasta las 16:00. Por lo tanto se tomaron muestras simultáneas en cada descarga realizada y se las dejó reposar durante aproximadamente 2 horas para lograr la sedimentación de sólidos, posteriormente se desalojó el agua excedente.

Se realizó el mismo proceso el día lunes 25 de noviembre del 2019 y el viernes 29 de noviembre del 2019 para obtener la cantidad suficiente de lodo para los procesos posteriores.



Figura 8. Toma de muestras del efluente

3.3. Determinación de la cantidad de materia orgánica

Para la determinación de la cantidad de materia orgánica se determinaron los sólidos totales y volátiles en los lodos de la planta potabilizadora, se tomó en cuenta el método 2540 de Standard Methods para sólidos totales, fijos y volátiles en muestras líquidas (APHA/AWWA/WEF, 2012).

3.3.1. Sólidos sedimentables

Se tomó una alícuota de 25 ml de cada balde que contenía las muestras de lodos. Este volumen de lodos fue homogenizado y colocado en tres conos Imhoff de la marca VITIAB en sus respectivos soportes. Se dejaron reposar las muestras durante una hora hasta que descendieron los sólidos sedimentables para poder ser cuantificados.

3.3.2. Sólidos totales

Se tomaron 6 crisoles y se colocaron dentro de la estufa a 105°C durante dos horas, posteriormente se colocaron los crisoles en el desecador durante 10 minutos para que alcance la temperatura ambiente. Los crisoles fueron pesados y se colocaron 25g de la muestra de lodos en cada uno de ellos.

Se introdujo las muestras en la estufa a 105°C durante toda la noche, después de 24 horas se colocaron los crisoles dentro de un desecador durante 10 minutos hasta alcanzar la temperatura ambiente y finalmente se pesaron.

Se colocaron los crisoles en la estufa a 105°C durante 30 minutos para verificar que la diferencia entre una medición y la otra sea menor al 4%.

Para determinar el porcentaje de sólidos totales se aplicará la siguiente fórmula:

(Ecuación 1)

$$\% \text{ sólidos totales} = \frac{(A - B) \times 100}{C - B}$$

Donde:

A: peso del residuo seco + crisol (g)

B: peso del crisol (g)

C: peso de la muestra húmeda + crisol (g)

3.3.3. Sólidos volátiles

Después del proceso anterior se colocaron los crisoles dentro de la mufla a 550°C durante 4 horas. Al cabo de este tiempo se colocaron los crisoles dentro del desecador durante 15 minutos para alcanzar la temperatura ambiente y posteriormente se pesaron.

Para determinar el porcentaje de sólidos volátiles se aplico la siguiente ecuación:

(Ecuación 2)

$$\% \text{ sólidos volátiles} = \frac{(A - D) \times 100}{A - B}$$

Donde:

A: peso del residuo seco + crisol (g)

B: peso del crisol (g)

D: peso del residuo + crisol después de la ignición (g)

(Flores, 2014).

3.4. Tratamiento de los lodos

3.4.1. Secado de los lodos

El secado de los lodos se realizó exponiéndolos al sol sobre un plástico negro de 3 metros de ancho por 4 metros de largo como se puede observar en la Figura 9. Los lodos fueron colocados para su secado de 7:00 a 16:00, este proceso fue realizado por 6 días seguidos hasta que se redujo la humedad como se puede apreciar en la Figura 10. Triturado de agregados de lodo fue mínima .



Figura 9. Secado de lodos

3.4.2. Triturado y tamizado de lodos

Una vez que los lodos se secaron por completo se los trituró empleando un molino casero como se aprecia en la Figura 10, este proceso se realizó con la finalidad de disminuir el tamaño del agregado para alcanzar una mejor

homogenización. Posteriormente, se tamizó el lodo seco con el objetivo de eliminar sólidos no deseados (hojas, ramas, etc).



Figura 10. Triturado de agregados de lodo



Figura 11. Tamizado del lodo seco y molido

3.5. Pruebas de resistencia a la compresión y tracción

3.5.1. Dosificación de la mezcla

Existen diferentes dosificaciones de cemento, arena, ripio y agua de acuerdo a la resistencia requerida (Rivero, 2008). En la Tabla 3, se especifican estas dosificaciones y con el fin de analizar los tratamientos extremos, la dosificación para el hormigón se realizó en base a resistencias de 100 y 300 kg/cm², con un Tamaño Máximo de Agregados (TMA) de 20 mm.

Los valores determinados en la Tabla 3 se obtuvieron a partir de las cantidades establecidas en la

Tabla 1. En la

Tabla 1 se expresan las cantidades en la unidad de parihuela, sin embargo, para facilitar los cálculos se transformó esta unidad a kg. Para lo cual se fabricó una parihuela cúbica (30*30*30 cm³), se colocó el volumen requerido de cada material en la parihuela y se pesó para obtener el valor de cada material en kg.

Adicionalmente, en cada mezcla se calculó la cantidad de lodo residual a ser añadido en diferentes porcentajes (0.5%, 2% y 4%). Esto se realizó con la finalidad de analizar la influencia del lodo en la resistencia a la compresión y tracción del hormigón.

Por lo tanto se contó con seis probetas (que variaban de acuerdo a la cantidad de lodo añadido y la resistencia requerida). Para cada resistencia se contó con un Blanco (sin añadir lodo); y cada tratamiento tenía tres repeticiones (es decir, se construyeron tres cilindros por cada tratamiento).

En la Tabla 3 se evidencia la cantidad de lodo, arena, cemento, ripio y agua empleados para cada mezcla.

Tabla 3.

Dosificación de componentes de acuerdo con la Resistencia requerida

Hormigón: Dosificación de componentes (TMA** 20 mm)						
Resistencia (kg/cm²)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Ripio (kg)	Agua (litros)	Lodo (kg)	Lodo (%)
100	100	221	212	57	0	0
					2.7	0.5
					10.7	2
					21.3	4
300	100	81	121	24	0	0
					1.5	0.5
					6	2
					12	4

3.5.2. Secado y tamizado de agregados

Se secaron al sol durante dos días los agregados finos (arena) y gruesos (grava) para reducir al máximo la cantidad de humedad. Después de este proceso se tamizó la grava para que no supere un TMA de 20 mm.

3.5.3. Elaboración de cilindros de hormigón

El Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador brindó sus servicios y materiales para la ejecución de este proceso. En total se elaboraron 72 cilindros, de los cuales 48 cilindros se usaron para determinar la resistencia a la compresión (7 y 28 días) y 24 de ellos se emplearon para determinar la resistencia a la tracción.

3.5.3.1. Determinación del asentamiento de la mezcla

Se colocaron los agregados en una mezcladora (arena, ripio, cemento, lodo) de acuerdo a la cantidad requerida para cada mezcla, durante un minuto

aproximadamente, poco a poco se iba añadiendo la cantidad de agua necesaria en la mezcladora durante 3 minutos como se observa en la Figura12.



Figura12. Proceso de mezcla de los agregados, agua y lodo

Para determinar el asentamiento cada mezcla, se empleó las directrices establecidas por la Norma ASTM C143 “Ensayo de asentamiento del hormigón” (International ASTM, s.f.). Se colocó cada mezcla dentro de un molde en forma de cono truncado. Se retiró el molde dejando la mezcla en la superficie. Posteriormente, se midió la distancia vertical desde la parte superior de la mezcla hasta la estructura metálica del molde como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Determinación del asentamiento de las mezclas

3.5.3.2. Moldeado de cilindros

La elaboración de cilindros de hormigón empleó la metodología establecida en la norma ASTM C31 (International ASTM, 2011).

Para el proceso de elaboración de los cilindros, el molde empleado fue de acero con dimensiones de 6*12 pulgadas, antes de usar este molde fue cubierto con un agente separador de encofrado no reactivo. Adicionalmente, la varilla empleada fue de acero liso diámetro 5/8", de 60 cm de largo y con uno de sus extremos redondeado. Además se empleó un martillo de goma y otros materiales como badilejo y plancha de metal.

Se colocaron todos los moldes sobre una superficie lisa horizontal nivelada y libre de vibración. Se colocó la mezcla en el interior del molde depositándola con cuidado alrededor del borde para asegurar una distribución adecuada. Se ajustó el sobrante o faltante de mezcla y se completó el número de golpes faltantes.

Se añadió la mezcla dentro del molde en tres capas, cada una de ellas se compactó la mezcla dentro del molde insertando la varilla y distribuyendo el material de manera uniforme. La capa inferior se compactó en todo su espesor,

mientras que la segunda y tercera capa se compactaron penetrando la varilla no más de 1" en la capa anterior.

Después de compactar cada capa se golpeó los lados del molde ligeramente 10 veces con el martillo de goma para liberar las burbujas de aire.

Finalmente, se eliminó el exceso de mezcla con la varilla de compactación.

Se identificó cada cilindro con la información correcta con respecto a la fecha, el tipo de mezcla. Cada molde etiquetado se colocó dentro de una funda para evitar la pérdida de agua por evaporación, se dejaron los moldes con la mezcla durante 24 horas a temperatura ambiente.

3.5.4. Desmoldado y curado

Los cilindros se retiraron de sus moldes después de 24 horas del proceso de moldeado.

Después de desmoldar los cilindros, se almacenaron en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua a temperatura ambiente entre 23°C y 25°C.

3.6. Determinación de la resistencia a la compresión

La normativa empleada en Ecuador para establecer la resistencia a la compresión en hormigón es la INEN 1573:2010 1R (INEN, 2010) basada en la norma internacional ASTM C39.

Para reducir las irregularidades en la superficie plana de cada cilindro y procurar un comportamiento homogéneo en el cilindro cuando se apliquen las pruebas de resistencia, se realizó el coronamiento en cada material como lo muestra la Figura 14.



Figura 14. Coronamiento en los cilindros

Los ensayos realizados sobre cada cilindro se ejecutaron en condiciones húmedas del material y se verificó que el indicador de carga del equipo empleado para los ensayos de resistencia estuviera ajustado a cero.

Se colocó el cilindro sobre el bloque de carga inferior y se alineó el eje del cilindro con el centro de carga del bloque de carga superior.

Se aplicó la carga continuamente y sin impacto, a una velocidad de esfuerzo sobre cada cilindro de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. Se aplicó la carga de compresión hasta que el indicador de carga mostró que estaba decreciendo constantemente y el cilindro mostraba un patrón de fractura bien definido.

Este proceso se realizó a los 7 y 28 días después del moldeado de los cilindros.

Para determinar la resistencia a la compresión del cilindro se dividió su carga máxima soportada durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal y se expresó el resultado con una aproximación a 0.1 MPa.



Figura 15. Pruebas de resistencia a la compresión

3.7. Determinación de la resistencia a la tracción

La ejecución de esta prueba se basó en la norma ASTM C496 “Método de Prueba Estándar para determinar la resistencia a la tracción en especímenes cilíndricos de concreto” (International ASTM, s.f.-b). Esta prueba consiste en generar compresión diametral a un espécimen cilíndrico de hormigón, en un rango establecido, hasta que se genere una falla (ruptura). De esta manera se producen esfuerzos de tracción (sobre el plano perpendicular donde se ha aplicado la carga) y esfuerzos de compresión (en el área que se encuentra alrededor de la carga).

En la Figura 16 se observa el resultado tras el proceso de aplicación de fuerzas para determinar la resistencia a la tracción de un cilindro de hormigón.



Figura 16. Pruebas de resistencia a la tracción

4. RESULTADOS

4.1. Sólidos totales y volátiles

Se determinó que el porcentaje de sólidos totales presentes en el lodo recolectado es del 0.74% y de esta cantidad, el 15.11% son sólidos volátiles (materia orgánica).

4.2. Asentamiento de la mezcla

Tabla 4.

Asentamiento de las mezclas de acuerdo con la cantidad de lodo

Cantidad de lodo en la mezcla	Asentamiento (cm) para 100 kg/cm ²	Asentamiento (cm) para 300 kg/cm ²
0%	5.5	9.5
0.5%	4.0	6.0
2%	2.2	3.0
4%	1.0	0.5

4.3. Resistencia a la compresión

Tabla 5.

Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 7 días (Método NTE INEN 1573:2010 1R ASTM C39)

Reps	Identificación de la muestra	Fecha de muestreo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro promedio (mm)	Sección (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	MEZCLA PATRÓN f _c =100 Kg/cm ²	02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	39.2	47.93
2		02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	37.4	44.87
3		02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	36.9	43.85
1	MEZCLA f _c = 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	45.0	54.05
2		02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	44.7	56.08
3		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	44.5	54.05
1	MEZCLA f _c = 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	50.2	60.16
2		02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	51.0	63.22
3		02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	48.4	58.12
1	MEZCLA f _c = 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	24.8	29.57
2		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	26.5	32.63
3		02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	25.0	31.61
1	MEZCLA PATRÓN f _c =300 Kg/cm ²	02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	131.8	161.12
2		02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	150.5	180.49
3		02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	148.2	177.43
1	MEZCLA f _c = 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	104	8495	110.3	132.56
2		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	116.2	141.74
3		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	109.5	133.58
1	MEZCLA f _c = 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	144.1	176.41
2		02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	144.2	180.49
3		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	137.2	168.25
1	MEZCLA f _c = 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	141.2	176.41
2		02/01/2020	09/01/2020	7	102	8171	134.6	168.25
3		02/01/2020	09/01/2020	7	103	8332	135.1	165.19

Tabla 6.

Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 28 días (Método NTE INEN 1573:2010 1R ASTM C39)

Reps	Identificación de la muestra	Fecha de muestreo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro promedio (mm)	Sección (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	MEZCLA PATRÓN f'c=100 Kg/cm ²	02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	52.8	63.22
2		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	62.5	75.46
3		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	59.8	71.38
1	MEZCLA f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	65.7	78.52
2		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	68.5	83.62
3		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	70.0	85.66
1	MEZCLA f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	105	8659	78.1	91.77
2		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	71.7	87.70
3		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	73.3	87.70
1	MEZCLA f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	63.5	76.48
2		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	66.8	80.56
3		02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	59.2	73.42
1	MEZCLA PATRÓN f'c=300 Kg/cm ²	02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	215.7	259.01
2		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	213.3	255.95
3		02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	203.7	253.91
1	MEZCLA f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	174.7	218.22
2		02/01/2020	30/01/2020	28	104	8495	164.0	196.81
3		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	147.6	180.49
1	MEZCLA f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	202.8	247.79
2		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	204.5	249.83
3		02/01/2020	30/01/2020	28	103	8332	206.2	251.87
1	MEZCLA f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	215.4	269.21
2		02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	171.1	213.12
3		02/01/2020	30/01/2020	28	102	8171	151.8	189.67

4.4. Resistencia a la tracción

Tabla 7.

Resistencia a la tracción de cilindros de hormigón a los 28 días (Método ASTM C496)

Reps	Identificación de la muestra	Fecha de muestreo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro promedio (mm)	Sección (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	28.2	8.97
2	PATRÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	30.0	9.48
3	f'c=100 Kg/cm ²	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	29.8	9.38
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	32.9	10.40
2	f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	104.0	36.7	11.42
3	0,5% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	31.6	9.99
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	27.4	8.67
2	f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	35.2	11.11
3	2,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	199.0	102.0	31.9	10.20
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	199.0	102.0	23.4	7.44
2	f'c= 100 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	29.6	9.38
3	4,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	30.5	9.59
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	104.0	82.1	25.59
2	PATRÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	105.0	81.3	25.09
3	f'c=300 Kg/cm ²	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	104.0	80.7	25.19
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	76.0	23.96
2	f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	105.0	61.0	18.86
3	0,5% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	103.0	65.6	20.70
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	80.8	25.70
2	f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	72.2	22.94
3	2,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	70.3	22.33
1	MEZCLA	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	74.4	24.66
2	f'c= 300 Kg/cm ² CON ADICIÓN	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	80.2	25.49
3	4,0% DE LODO	02/01/2020	30/01/2020	28	200.0	102.0	80.7	25.70

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de datos teóricos vs datos experimentales

Para analizar el comportamiento de los tratamientos y el Blanco en las diferentes pruebas realizadas, se obtuvo un promedio de las tres repeticiones en cada caso y se representó el resultado en las figuras a continuación.

5.1.1. Resistencia a la compresión

En la Figura 17 se puede apreciar que el tratamiento que tenía 2% de lodo es el que obtuvo mayor resistencia a la compresión.

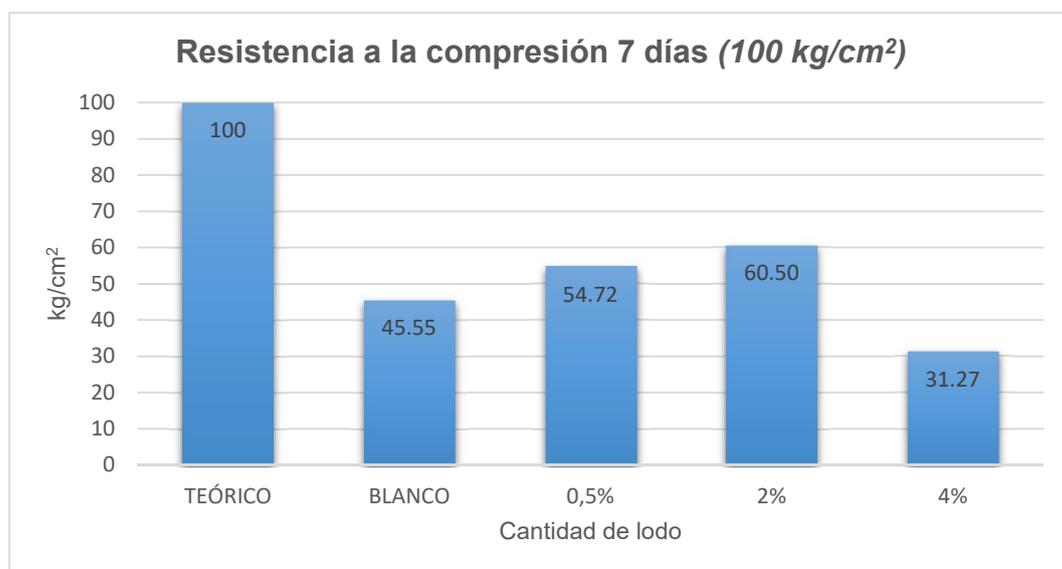


Figura 17. Resistencia a la compresión a los 7 días (100 kg/cm²)

En la Figura 18 se puede apreciar que el tratamiento que tenía 2% de lodo es el que obtuvo mayor resistencia a la compresión.

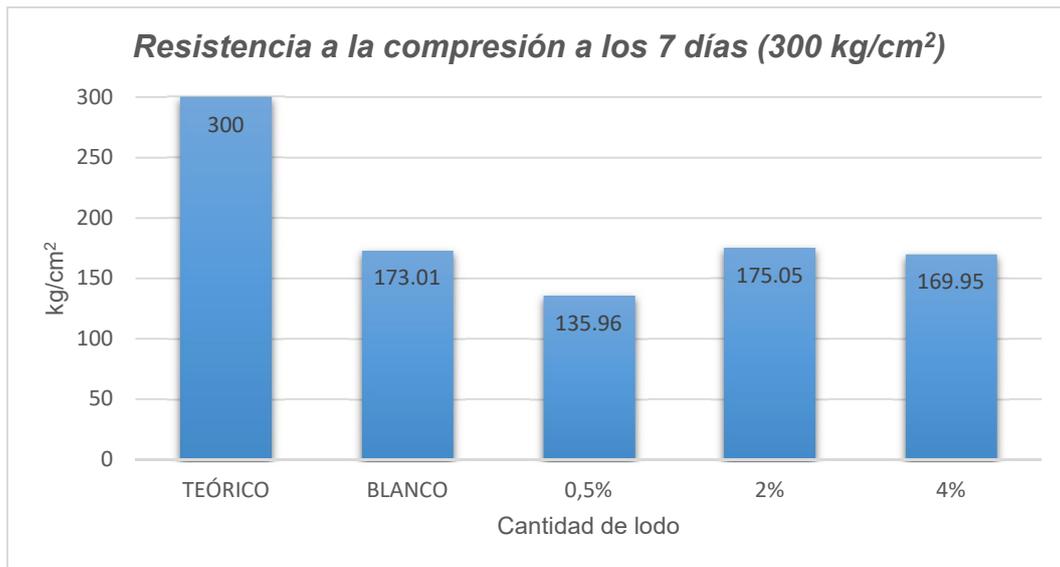


Figura 18. Resistencia a la compresión a los 7 días (300 kg/cm²)

En la Figura 19. *Resistencia a la compresión a los 28 días* Figura 19 se puede apreciar que el tratamiento que tenía 2% de lodo es el que obtuvo mayor resistencia a la compresión.

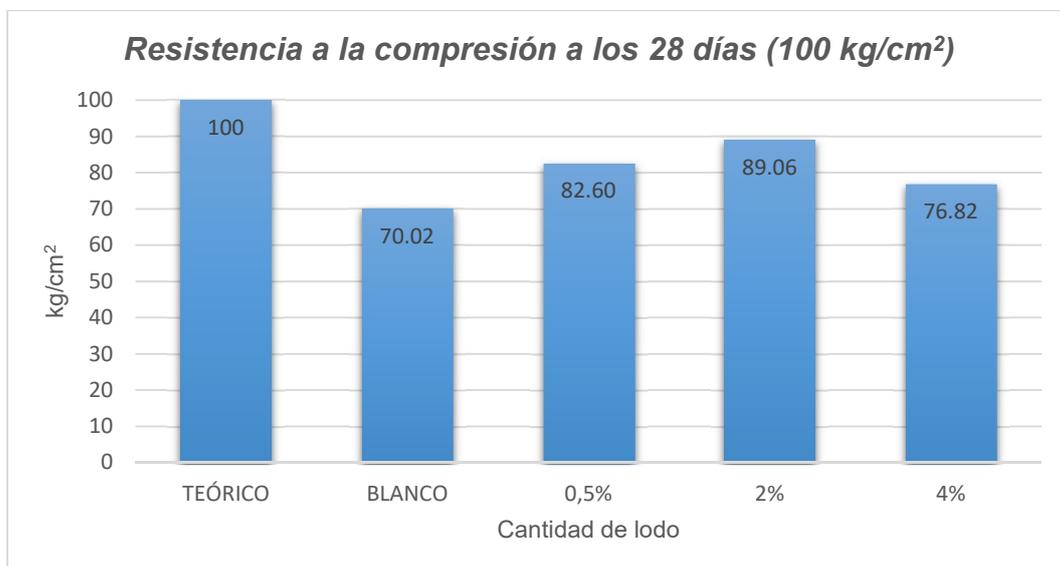


Figura 19. Resistencia a la compresión a los 28 días (100 kg/cm²)

En la Figura 20 se puede apreciar que el Blanco es el que obtuvo mayor resistencia a la compresión.

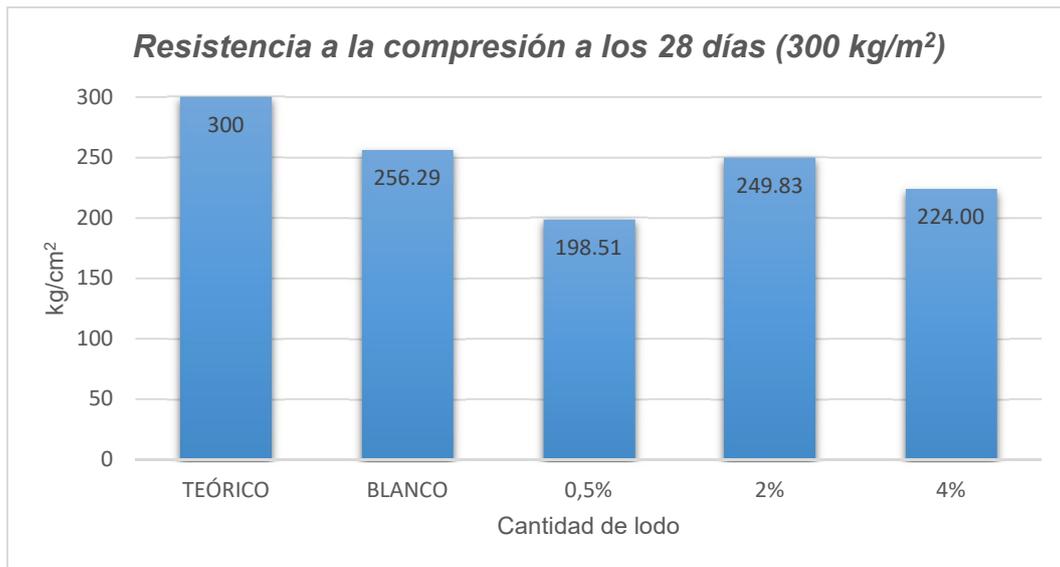


Figura 20. Resistencia a la compresión a los 28 días (300 kg/cm²)

5.1.2. Resistencia a la Tracción

En el caso del hormigón, a una resistencia a la compresión teórica de 100 kg/cm² le corresponde una resistencia a la tracción teórica de 10 kg/cm², tomando en cuenta esta relación se realizaron los gráficos a continuación (Parrales, 2018).

En la Figura 21 se puede apreciar que el tratamiento que tenía 0.5% de lodo es el que obtuvo mayor resistencia a la tracción.

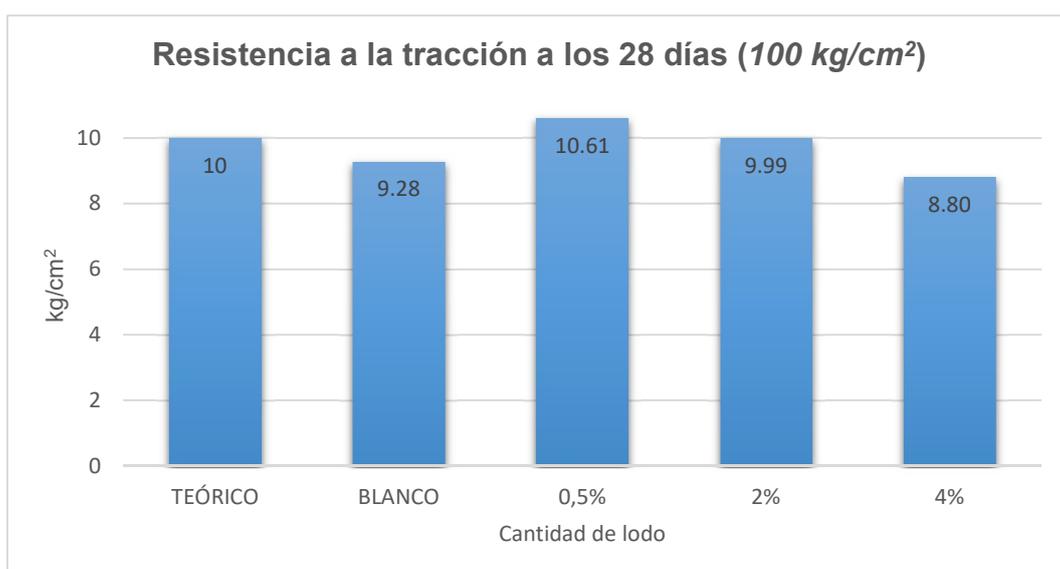


Figura 21. Resistencia a la tracción a los 28 días (100 kg/cm²)

En la Figura 22 se puede observar que el Blanco obtuvo mayor resistencia a la tracción.

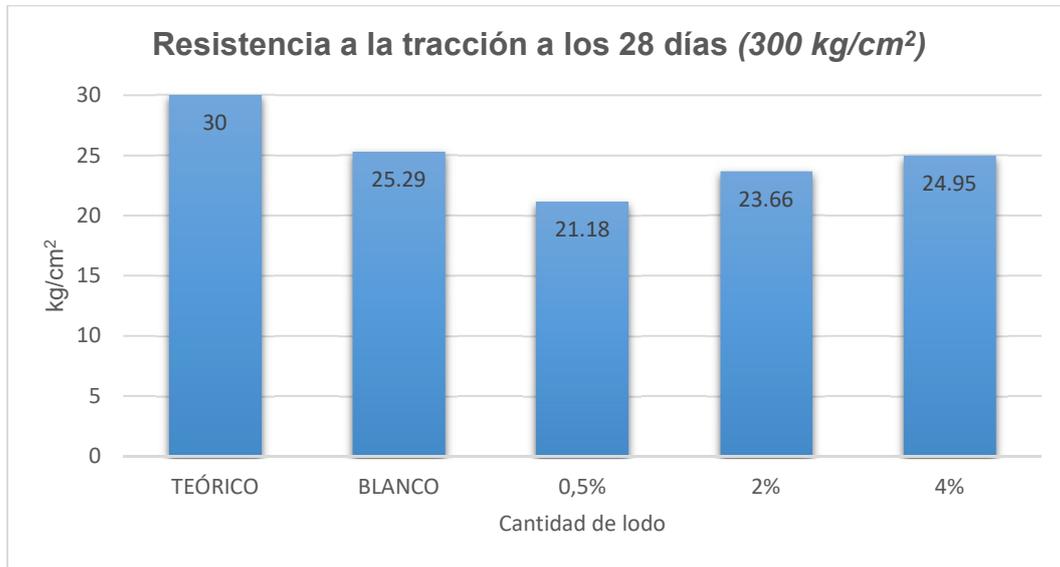


Figura 22. Resistencia a la tracción a los 28 días (300 kg/cm²)

Como se puede apreciar en la mayoría de las pruebas de resistencia realizadas, el Blanco se encuentra alejado del valor teórico y en todos los casos el tratamiento que contenía 2% fue el que presentó mayor resistencia a la compresión, a excepción de la prueba a los 28 días de 300 kg/cm²; con respecto a las pruebas de tracción, el blanco (100 kg/cm²) y el tratamiento con 0.5% de lodo (300 kg/cm²) se acercaban más al valor teórico.

Esta variación presentada entre el blanco y el dato teórico puede darse debido a errores y mal manejo de los cilindros durante el curado y la ejecución de las pruebas. Además, este particular puede deberse a un exceso de agua en la mezcla (Instituto Mexicano del cemento y el concreto, 2006); distribución granulométrica inadecuada (tomando en cuenta los agregados); y en muchos casos también influye la forma, textura, resistencia y rigidez de los agregados (Argos, s.f.).

5.2. Análisis estadístico

Después de realizar el análisis de Normalidad Shapiro-wilks para todas las pruebas de resistencia a la compresión y tracción se determinó que los datos de

las pruebas de resistencia a la compresión a los 7 días (300 kg/cm²) y resistencia a la tracción a los 28 días (300 kg/m²) no eran normales, como se puede apreciar en la *Tabla 10* y *Tabla 18*.

En el caso de las pruebas cuyos datos no eran normales se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para establecer diferencia significativa en los tratamientos. Por otro lado, para las pruebas cuyos datos eran normales se aplicó una prueba ANOVA.

Tabla 8.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la compresión a los 7 días (100 kg/cm²)

Variable	N	Media D.E.	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	4.71	1.14	0.88	0.1521

Tabla 9.

Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey de la Resistencia a la compresión a los 7 días (100 kg/cm²)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Resistencia	12	0.98	0.97	4.02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1462.18	3	487.39	130.85	< 0.0001
Tratamiento	1462.18	3	487.39	130.85	< 0.0001
Error	29.80	8	3.72		
Total	1491.98	11			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.04626					
<i>Error:3.7247</i>		<i>gl:8</i>			
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
2%	31.27	3	1.11	A	
0%	45.55	3	1.11	B	
0.5%	54.73	3	1.11	C	
1%	60.50	3	1.11		
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)</i>					

Tabla 10.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la compresión a los 7 días (300 kg/cm²)

Variable	N	Media	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	16.03	1.75	0.80	0.0085

Tabla 11.

Análisis de varianza no paramétrica Kruskal Wallis de la Resistencia a la compresión a los 7 días (300 kg/cm²)

Variable	lodo	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Resistencia	0%	3	16.97	1.02	17.40	6.86	0.0741
Resistencia	0.5%	3	13.33	0.49	13.10		
Resistencia	2%	3	17.17	0.61	17.30		
Resistencia	4%	3	16.67	0.57	16.50		

Tabla 12.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la compresión a los 28 días (100 kg/cm²)

Variable	N	Media	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	7.81	0.80	0.96	0.8703

Tabla 13.

Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey de la Resistencia a la compresión a los 28 días (100 kg/cm²)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Resistencia	12	0.81	0.74	5.28	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	593.79	3	197.93	11.20	0.0031
Tratamiento	593.79	3	197.93	11.20	0.0031
Error	141.44	8	17.68		
Total	735.23	11			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.99423					
<i>Error:17.6800</i>		<i>gl:8</i>			
Tratamiento	Medias	n	E.E.		

0%	70.02	3	2.43	A
2%	76.82	3	2.43	A B
0.5%	82.60	3	2.43	B
1%	89.06	3	2.43	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

Tabla 14.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la compresión a los 28 días (300 kg/m²)

Variable	N	Media D.E.	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	22.77	3.01	0.85	0.0542

Tabla 15.

Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey de la Resistencia a la compresión a los 28 días (300 kg/m²)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Resistencia	12	0.61	0.46	9.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6280.85	3	2093.62	4.11	0.0489
Tratamiento	6280.85	3	2093.62	4.11	0.0489
Error	4078.46	8	509.81		
Total	10359.32	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=59.03733
Error:509.8079 gl:8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
0.5%	198.51	3	13.04	A
2%	224.00	3	13.04	A
1%	249.83	3	13.04	A
0%	256.29	3	13.04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

Tabla 16.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la tracción a los 28 días (100 kg/m²)

Variable	N	Media D.E.	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	0.95	0.11	0.97	0.9350

Tabla 17.

Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey de la Resistencia a la tracción a los 28 días (100 kg/m²)

Variable	N	R²	R² Aj	CV	
Tracción	12	0.44	0.23	9.73	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.64	3	1.88	2.13	0.1752
Tratamiento	5.64	3	1.88	2.13	0.1752
Error	7.08	8	0.89		
Total	12.73	11			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.46003					
<i>Error:0.8852</i>		<i>gl:8</i>			
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
2%	8.80	3	0.54	A	
0%	9.28	3	0.54	A	
1%	9.99	3	0.54	A	
0.5%	10.60	3	0.54	A	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)</i>					

Tabla 18.

Análisis de Normalidad Shapiro-wilks de la Resistencia a la tracción a los 28 días (300 kg/m²)

Variable	N	Media D.E.	D.E.	W*	P (Unilateral D)
Resistencia	12	2.33	0.22	0.83	0.0313

Tabla 19.

Análisis de varianza no paramétrica Kruskal Wallis de la Resistencia a la tracción a los 28 días (300 kg/m²)

Variable	lodo	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Resistencia	0%	3	2.48	0.03	2.47	4.55	0.2064
Resistencia	0.5%	3	2.08	0.25	2.03		
Resistencia	2%	3	2.32	0.18	2.25		
Resistencia	4%	3	2.45	0.11	2.50		

Tabla 20.

Resumen de las pruebas de resistencia a la compresión (kg/cm²)

Tratamiento/ Tiempo	% de lodo	Resistencia (promedio de las tres repeticiones)	Resultado ANOVA
100 kg/cm ² 7 días	0%	45.55	Los tratamientos sí tienen diferencias significativas
	0.5%	54.72	
	2%	60.50	
	4%	31.27	
300 kg/cm ² 7 días	0%	173.01	Los tratamientos no tienen diferencias significativas
	0.5%	135.96	
	2%	175.05	
	4%	169.95	
100 kg/cm ² 28 días	0%	70.02	Los tratamientos sí tienen diferencias significativas
	0.5%	82.60	
	2%	89.06	
	4%	76.82	
300 kg/cm ² 28 días	0%	256.29	Los tratamientos no tienen diferencias significativas
	0.5%	198.51	
	2%	249.83	
	4%	224.00	

Tabla 21.

Resumen de las pruebas de resistencia a la tracción (kg/cm²)

Tratamiento/ Tiempo	% de lodo	Resistencia (promedio de las tres repeticiones)	Resultado ANOVA
100 kg/cm ² 28 días	0%	9.28	Los tratamientos no tienen diferencias significativas
	0.5%	10.61	
	2%	9.99	
	4%	8.80	
300 kg/cm ² 28 días	0%	25.29	Los tratamientos no tienen diferencias significativas
	0.5%	21.18	
	2%	23.66	
	4%	24.95	

Como se puede observar en la Tabla 20 y Tabla 21, dos de las seis pruebas o tratamientos presentaron diferencias significativas entre los ensayos con diferentes porcentajes de lodo, estos fueron, la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (100 kg/cm²). Esto implica que, en estos casos, la adición de lodo sí contribuyó a un cambio en la resistencia a la compresión.

Por otro lado, en los demás tratamientos en donde se observó que no existen diferencias significativas, el lodo no actuó como un agente de cambio en los cilindros de hormigón frente a la resistencia a la compresión y tracción.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el presente estudio se elaboraron 72 cilindros de hormigón para evaluar su resistencia a la compresión y tracción a partir de tres tratamientos diferentes (0.5%, 2% y 4% de lodo) y un Blanco (0% de lodo).

En la mayoría de las pruebas de resistencia realizadas, el Blanco discrepó ampliamente con respecto al valor teórico, posiblemente por el manejo de los cilindros de hormigón, la cantidad de agua en la mezcla o las características de los agregados.

Además, en todas las pruebas de resistencia a la compresión, el tratamiento que contenía 2% de lodo fue el que presentó una mayor resistencia, incluso superando al blanco, a excepción de la prueba realizada a los 28 días para 300 kg/cm². Por lo tanto, el tratamiento más eficiente, en cuanto a resistencia a la compresión, fue aquel que contenía 2% de lodo.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado a las pruebas de resistencia a la compresión de 100 kg/cm² (7 y 28 días), se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, es decir que el contenido de lodo en las mezclas, generó una diferencia entre los tratamientos. Por otro lado, el resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas en las resistencias, indicando que las composiciones utilizadas no influyen en la resistencia.

Por otro lado, en las pruebas de resistencia a la tracción, el Blanco (30 kg/cm²) y el tratamiento que contenía 0.5% de lodo (10 kg/cm²) presentaron la resistencia más alta.

Para la primera resistencia teórica (10 kg/cm²), el tratamiento con 2% de lodo fue el segundo en presentar la mayor resistencia a la tracción y para el valor teórico de 30 kg/cm² fue el tercero. En ambos casos el valor experimental no discrepó en gran cantidad del valor teórico.

Finalmente, se puede concluir que, analizando los datos proporcionados de resistencia a la tracción y compresión, el tratamiento que contiene 2% de lodo presentó el mejor comportamiento respecto a ambas evaluaciones realizadas. Por lo tanto, este porcentaje de lodo podría ser empleado en la conformación de materiales de hormigón.

6.2 Recomendaciones

Al incrementar la cantidad de lodo en los cilindros, el agua contenida en ellos era más propensa a la evaporación, por lo tanto, el uso de bolsas plásticas para detener este inconveniente fue crucial, en ese sentido se recomienda tomar en cuenta este particular para futuras investigaciones.

Se recomienda ampliar el rango de evaluación con respecto al porcentaje de lodo añadido en los cilindros de hormigón, es decir, se pueden analizar porcentajes más altos a los establecidos en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Academia Nacional de Ciencias. (2007). Coagulación Floculación. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Coagulation-Flocculation.html>
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*, 124, 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.073>
- APHA/AWWA/WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Standard Methods*, 541. <http://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Argos. (s.f.). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. Recuperado el 7 de junio del 2020 de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>
- Asociación Española para la Calidad. (s.f.). Normas ASTM. Recuperado el 20 de octubre del 2019 de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- Aznar, D., & Cabanelas, D. (s.f.). Tratamiento de fangos. Recuperado el 5 de septiembre del 2019 de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/material-clase/MC-F-218.pdf>
- Baquilema, A. (2018). *Estudios comparativos entre hormigones tradicionales vs hormigones livianos aislantes, obtenidos de la ceniza de la quema de madera y cubos de madera como agregados finos y gruesos*. Universidad de las Américas. Recuperado el 20 de octubre del 2019 de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9383/1/UDLA-EC-TTCD-2018-12.pdf>
- Barrenechea, A. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Coagulación. *Tratamiento de Agua Para Consumo Humano*, 153–224. Recuperado el 20 de octubre del 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnhttp://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDAM0000012-5.pdf>
- BCO'Kelly. (2010). Landfill Disposal of Alum Water Treatment Residues: Some Pertinent Geoengineering Properties. *Journal of Residuals Science & Technology*;7 (2): 95-113 Apr 2010, 7(2), 95–113. Recuperado el 5 de septiembre del 2019 de <http://www.thomsoninnovation.com/tip-innovation/%5Cnhttp://www.thomsoninnovation.com/tip-innovation/recordView.do?datasource=WOK&category=LIT&selRecord=1&totalRecords=1&databaselds=WOS,CCC&idType=uid/recordid&recordKeys=000276957000004/WOS:000276957000004>
- CEPIS. (1984). Programa de Protección de la Salud Ambiental HPE, Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua. *Manual DTIPA*, 121.

- Cheng, W. P., & et al. (2012). Dynamics of aluminum leaching from water purification sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 217, 149–155.
- Enright, C. (2009). Normas para la construcción. Recuperado el 20 de octubre del 2019 de http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO09/infocus_sps09.html
- Feria Diaz, J. J., & Martinez Acosta, L. E. (2014). Tratamiento De Lodos De Fondo De Lagunas Facultativas Con Estabilización En Condiciones De Laboratorio Bottom Sludge Treatment of Facultative Ponds With Stabilization in Laboratory Conditions. *Revista EIA*, 6(1794–1237), 113–122. <http://doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.113-122>
- Ferreira-Filho, S. ., & et al. (2013). Water treatment plant sludge disposal into stabilization ponds. *Water Science and Technology*, 67, 1017–1025.
- Flores, A. (2014). *Informe de Determinación de Humedad en Cebada*. Universidad Nacional de Moquegua.
- G.R.Xu, et al. (2009). Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 663–669. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.008>
- Gang, Z., Ting-lin, H., Zhan-peng, L., & Chi, T. (2010). Full Scale Evaluation on Ferric Floccs Sludge Treatment with Pelleting Flocculation Blanket Process. *Proceedings of the 2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering - CESCE*.
- Garcés, F., Díaz, J., & Dellepiane, O. (2004). Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de agua potable. <http://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Gutiérrez, J., Ramírez, Á., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2017). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13–27. <http://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
- Ibarra, D., Rangel, M., Carrasco, R., & Alcaraz, A. (2010). Aplicación de lodos de procesos de potabilización como mitigantes de la sodicidad en suelos agrícolas Application of sludge from water treatment processes as sodicity reducers in agricultural soils. *Ingeniería*, 2, 87–97.
- idreco. (2019). Potabilization. Recuperado el 20 de agosto del 2019 de <https://www.idreco.com/potabilization/>
- INEC. (2017). Ecuador, pionero en medición de ODS de Agua, Saneamiento e Higiene. Recuperado el 1 de septiembre del 2019 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-pionero-en-medicion-de-ods-de-agua-saneamiento-e-higiene/>
- INEN. (2010). NTE INEN 1573: Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. *Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen*, 2165, 8.

- Instituto Mexicano del cemento y el concreto. (2006). El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones. Recuperado el 7 de junio del 2019 de <http://www.imcyc.com/ct2006/mayo06/PROBLEMAS.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2007). El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones, 13, 67–71. Recuperado el 7 de junio del 2019 de www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn
- International ASTM. (s.f.-a). Ensayo de asentamiento del hormigón. Recuperado el 24 de mayo del 2020 de <https://www.astm.org/Standards/C496C496M-SP.htm>
- International ASTM. (s.f.-b). Método de Prueba Estándar para determinar la resistencia a la tracción en especímenes cilíndricos de concreto. Recuperado el 24 de mayo del 2020 de <https://www.astm.org/Standards/C496C496M-SP.htm>
- International ASTM. (2011). Probetas de concreto ASTM C31. Recuperado el 20 de octubre del 2019 de https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/cilindros-de-prueba-de-concreto-astm-c-31-descripcion_12nqmc
- Kaoso, T. (2010). Reuse Water Treatment Sludge for Hollow Concrete Block Manufacture. *Energy*, 1(2), 131–134.
- Laboratorio Nacional de Vialidad. (2015). Agregados Pétreos, 1–42.
- Lentech. (s.f.). Tratamiento de lodos. Recuperado el 6 de agosto del 2019 de <https://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-secado.htm>
- Lubarski, V., Levlin, E., & Koroleva, E. (1996). Endurance test of aluminous Cement produced from water treatment sludge, 52(1), 39–42.
- Maldonado, V. (2000). Filtración. Recuperado el 6 de agosto del 2019 de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>
- Martínez, M. (2012). *Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final para lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero* Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de https://scholar.google.es/scholar?q=disposicion+de+planta&hl=en&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2006&as_yhi=2016#3
- Ministerio de Economía de Guatemala. GUATEMALTECA NTG-41007 (2007).
- National Environmental Services Center. (s.f.). Tecnología en Breve. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/spanish/filtration_DWPSOM139.pdf
- Obras Sanitarias del Estado (OSE). (2019). Etapas del Proceso de Potabilización. Recuperado el 20 de agosto del 2019 de <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>

- Orellana, X. (2015). *Uso de los lodos , producto del tratamiento de aguas residuales , para la fabricación de ladrillos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Parrales, G. (2018). *Conservación de edificaciones*. (Editorial Área de innovación y desarrollo, Ed.) (Segunda Ed). Recuperado el from [https://books.google.com.ec/books?id=hN9TDwAAQBAJ&pg=PA11&lpg=PA11&dq=si+la+compresion+de+un+material+es+de+100+kg/cm2+la+tracciones&source=bl&ots=2S-ACptfOb&sig=ACfU3U0qUOF-MExbB09OGOW0Oe3ghqK9FQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiEnM30i_HpAhXIQd8KHTSCB-oQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=si la compresion de un material es de 100 kg%2Fcm2 la tracciones&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=hN9TDwAAQBAJ&pg=PA11&lpg=PA11&dq=si+la+compresion+de+un+material+es+de+100+kg/cm2+la+tracciones&source=bl&ots=2S-ACptfOb&sig=ACfU3U0qUOF-MExbB09OGOW0Oe3ghqK9FQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiEnM30i_HpAhXIQd8KHTSCB-oQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=si+la+compresion+de+un+material+es+de+100+kg%2Fcm2+la+tracciones&f=false)
- Ramírez, F. (2008). Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. *Técnica Industrial*, 46–52.
- Rasheed, G., & Kadhum, S. (2015). Disposal of Sludge from Water Treatment Plants in the Manufacturing of Building Blocks (Bricks), (February 2015). <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.26951.14242>
- Rivero, J. (2008). *Manual Técnico de Construcción HOLCIM APASCO*. (E. F. Porrúa, Ed.). Distrito Federal.
- Rodríguez, J. (2013). *Propuesta Metodológica Para Tratamiento De Lodos Provenientes De Plantas De Potabilización En La Sabana De Bogotá (Estudio De Caso Madrid, Cundinamarca)*. Universidad Libre.
- Ruiz, F. (2011). Utilización De Los Lodos Generados En El Proceso De Potabilización Del Agua De La Planta De Tratamiento “Casigana”, Como Aditivo Para Suelos De Cultivo, 20.
- Spinosa, L. (2013). Characterization: a necessary tool in sludge management. *Water Science and Technology*, 68, 748–755.
- Taersa. (2018). Potabilization Process. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de <https://www.taersa.com/en/process-and-technology/treatment-and-water-potabilization/potabilization-process/>
- Terán, C., & Cando, C. (2016). Estadística Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, 1–20. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento_tecnico_APA_2016.pdf?fbclid=IwAR2sD7yecSKpUkK75siLb5L2_fWCIOW-nVzu3Z4r6jvrJrEeTNBoUeS7Fms
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145–154.
- UMACON. (2016). ¿Qué es el hormigón/cemento armado? Recuperado el 20 de septiembre del 2019 de <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-hormigon-o-cemento-armado/409>

- Universidad de Costa Rica. (2011). Resistencia a la compresión de cilindros de concreto, 3. Recuperado el 25 de septiembre del 2019 de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/3-concreto/3.10-11.pdf>
- Verrelli, D. I., Dixon, D. R., & Scales, P. J. (2010). Assessing dewatering performance of drinking water treatment sludges. *Water Research*, 44(5), 1542–1552. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.036>
- Victoria, A. . (2013). Characterisation and performance evaluation of waterworks sludge as bricks material. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3, 69–79.
- Walsh, M. E., & et al. (2008). Strategic pathways for the sustainable management of wáter treatment plant residuals. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7, 45–52.
- Zhang, G., Huang, T. L., Li, Z. P., & Tan, C. (2010). Full scale evaluation on ferric flocs sludge treatment with pelleting flocculation blanket process. *International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, CESCE 2010*, 1, 193–196. <http://doi.org/10.1109/CESCE.2010.129>
- Zhao, Y. . (2003). Correlations between floc physical properties and optimum polymer dosage in alum sludge conditioning and dewatering. *Chemical Engineering Journal*, 92, 227–235.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los ensayos de compresión realizados sobre cilindros de hormigón 7 días 100 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
CILINDROS DE HORMIGÓN
MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)**

INFORME: 15199

HOJA: 1 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 100 kg/cm ²	2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	39,2	4,7
2		2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	37,4	4,4
3		2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	36,9	4,3
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 2 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	45,0	5,3
2		2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	44,7	5,5
3		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	44,5	5,3
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSC
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-822-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

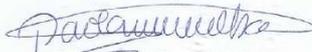
HOJA: 3 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f'c= 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	50,2	5,9
2		2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	51,0	6,2
3		2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	48,4	5,7
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-855 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

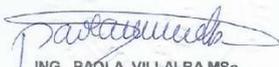
HOJA: 4 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _{cm} = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	24,8	2,8
2		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	26,5	3,2
3		2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	25,0	3,1
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

Anexo 2. Resultados de los ensayos de compresión realizados sobre cilindros de hormigón 7 días 300 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
CILINDROS DE HORMIGÓN
MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)**

INFORME: 15199

HOJA: 5 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 300 kg/cm ²	2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	131,8	15,8
2		2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	150,5	17,7
3		2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	148,2	17,4
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 6 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	104	8495	110,3	13,0
2		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	116,2	13,9
3		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	109,5	13,1
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

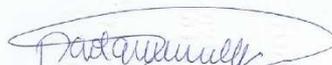
HOJA: 7 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	144,1	17,3
2		2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	144,2	17,7
3		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	137,2	16,5
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-855 CASILLA: 17-03-1680

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

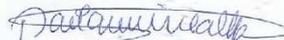
HOJA: 8 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	16/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	141,2	17,3
2		2/1/2020	9/1/2020	7	102	8171	134,6	16,5
3		2/1/2020	9/1/2020	7	103	8332	135,1	16,2
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

Anexo 3. Resultados de los ensayos de compresión realizados sobre cilindros de hormigón 28 días 100 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
CILINDROS DE HORMIGÓN
MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)**

INFORME: 15199

HOJA: 9 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 100 kg/cm ²	2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	52,6	6,2
2		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	62,5	7,4
3		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	59,8	7,0
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

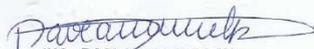
HOJA: 10 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	65,7	7,7
2		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	68,5	8,2
3		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	70,0	8,4
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-822-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

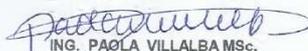
HOJA: 11 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _{cs} = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 2.0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	105	8659	78,1	9,0
2		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	71,7	8,6
3		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	73,3	8,6
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 12 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	63,5	7,5
2		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	66,8	7,9
3		2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	59,2	7,2
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

Anexo 4. Resultados de los ensayos de compresión realizados sobre cilindros de hormigón 28 días 300 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-855 CASILLA: 17-03-1860

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
CILINDROS DE HORMIGÓN
MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)**

INFORME: 15199

HOJA: 13 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 300 kg/cm ²	2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	215,7	25,4
2		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	213,3	25,1
3		2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	203,7	24,9
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 14 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	174,7	21,4
2		2/1/2020	30/1/2020	28	104	8495	164,0	19,3
3		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	147,6	17,7
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 15 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	202,8	24,3
2		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	204,5	24,5
3		2/1/2020	30/1/2020	28	103	8332	206,2	24,7
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 15199

HOJA: 16 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	31/1/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	215.4	26,4
2		2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	171.1	20,9
3		2/1/2020	30/1/2020	28	102	8171	151.8	18,6
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con mortero de azufre
- FRACTURA: Tipo 1, según NTE INEN 1573:2010 anexo A
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

Anexo 5. Resultados de los ensayos de Tracción realizados sobre cilindros de hormigón 28 días 10 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS
 SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN
 NORMA ASTM C 496**

INFORME: 15199

HOJA: 17 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 100 kg/cm ²	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	28,2	0,88
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	30,0	0,93
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	29,8	0,92
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
 DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

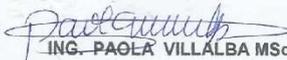
HOJA: 18 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD	LONGITUD	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A TRACCIÓN
				DÍAS	(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
1	MEZCLA $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	32,9	1,02
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	104,0	36,7	1,12
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	31,6	0,98
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

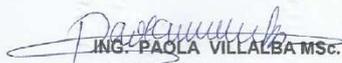
HOJA: 19 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN
								(MPa)
1	MEZCLA f _c = 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	27,4	0,85
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	35,2	1,09
2		2/1/2020	30/1/2020	28	199,0	102,0	31,9	1,00
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

HOJA: 20 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A
								TRACCIÓN (MPa)
1	MEZCLA f'c= 100 kg/cm ² CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	199,0	102,0	23,4	0,73
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	29,6	0,92
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	30,5	0,94
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

Anexo 6. Resultados de los ensayos de Tracción realizados sobre cilindros de hormigón 28 días 30 kg/cm².



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS
 SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN
 NORMA ASTM C 496**

INFORME: 15199

HOJA: 21 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)
1	MEZCLA PATRÓN f _c = 300 kg/cm ²	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	104,0	82,1	2,51
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	105,0	81,3	2,46
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	104,0	80,7	2,47
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
 DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

HOJA: 22 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)
1.	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 0,5% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	76,0	2,35
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	105,0	61,0	1,85
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	103,0	65,6	2,03
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

HOJA: 23 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD	LONGITUD	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A TRACCIÓN
				DÍAS	(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
1	MEZCLA f _c = 300 kg/cm ² CON ADICIÓN 2,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	80,8	2,52
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	72,2	2,25
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	70,3	2,19
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-522-655 CASILLA: 17-03-1650

Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN NORMA ASTM C 496

INFORME: 15199

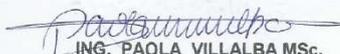
HOJA: 24 DE 24

DATOS INFORMATIVOS:				
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:		
		RECEPCIÓN	ENSAYO	INFORME
CONTROL DE CALIDAD	SR. GUSTAVO HARO	9/1/2020	30/1/2020	3/2/2020

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD	LONGITUD	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A TRACCIÓN
				DÍAS	(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
1	MEZCLA $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ CON ADICIÓN 4,0% DE LODO	2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	74,4	2,32
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	80,2	2,50
2		2/1/2020	30/1/2020	28	200,0	102,0	80,7	2,52
x	x	x		x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- MUESTREO: Realizado por el cliente
- TIPO DE FRACTURA: Paralela a la dirección de la carga
- 1 Mpa = 10.197 Kg/cm²


ING. PAOLA VILLALBA MSc.
DIRECTORA (E)

