

**CARACTERIZACIÓN Y REUSO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL RÍO ALGODONAL EN EL
MUNICIPIO DE OCAÑA**

LISBETH JACKELINE LÓPEZ SALAZAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA,
2016**

**CARACTERIZACIÓN Y REUSO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL RÍO ALGODONAL EN EL
MUNICIPIO DE OCAÑA**

LISBETH JACKELINE LÓPEZ SALAZAR

Trabajo de Aplicación para optar al título de Magister en Química Ambiental

Director

M.Sc LUZ YOLANDA VARGAS FIALLO

Química, MSc. Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

MAESTRÍA EN QUÍMICA AMBIENTAL

BUCARAMANGA,

2016

DEDICATORIA

A Eloise, mi *sui génèris*.

A Renson, porque en sus ojos siempre halle esta inmensidad.

A mi familia: Eloise y Renson.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, María y Samuel, por su amor incansable; ellos son la energía revitalizante que encuentro siempre al llegar a casa.

A la I.E. Escuela Normal Superior de Ocaña, especialmente al Rector MSc. Alonso Montaguth Navas por disponer espacios que me permitieron llevar a cabo los estudios de posgrado y su Fe constante en la necesidad de formación y bienestar del docente. A mis Compañeros del Área, en quienes encontré calidez humana.

A la ESPO S.A. en cabeza del Ing. Milton Suárez, por el Aval para el Trabajo de Aplicación y permitir los espacios para llevar a cabo el Proyecto, siempre oportunos y facilitadores de información. Al Ing. Santander Rincón y los operadores de la Planta.

A la profesora MSc. Luz Yolanda Vargas Fiallo y al Laboratorio Químico de Consultas Industriales, por su dirección en el desarrollo del trabajo de aplicación y su apoyo incondicional en momentos difíciles.

A la profesora Ph.D. Ángela Marcela Montaña por su orientación como codirectora y generadora de ambientes de aprendizaje en el programa de la Maestría.

Al profesor Ph.D. Jose Antonio Henao y al Laboratorio de Difracción de Rayos X por posibilitar los ensayos de DRX fundamentales en el presente estudio.

A los Ingenieros Mauricio Felizzola y Renson García por su colaboración en las salidas de campo y muestreo.

A los profesores Ph.D. Dora Cecilia Rodríguez y Ph.D. Gabriel Peña, de la Universidad Francisco de Paula Santander por visionarme en un sueño, que hoy he cumplido.

A Mónica Salazar, por su hospitalidad y su cariño sincero.

A mis amigos, Isa, Bladimir y Edw, por los días soleados en la ciudad bonita y las noches de tertulias después de clase.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PROBLEMA	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. HIPÓTESIS	20
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo General..	20
1.2.2. Objetivos Específicos.	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	21
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL	26
2.2.1. Potabilización Del Agua.	26
2.2.2. Lodos Generados en una PTAP..	28
2.2.3. Métodos de Tratamiento y Disposición de los Lodos.	30
2.2.4. Determinación Teórica de la Cantidad de Lodos Generados por una PTAP..	32
2.3. BASE LEGAL	34
3. METODOLOGÍA	35
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.2. RECONOCIMIENTO DE LOS LODOS	36
3.2.1. Familiarización con el Funcionamiento de la PTAP.	36
3.2.2. Identificación de las estaciones donde se produce Lodo y la limpieza de tanques..	36

3.2.3. Cuantificación Teórica de los lodos Aluminosos..	36
3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS ALUMINOSOS	37
3.3.1. Muestreo.	37
3.3.2. Procesamiento de las Muestras de Lodos Aluminosos (MLA) en el Laboratorio.....	37
3.3.3. Caracterización Físicoquímica de los Lodos Aluminosos.....	38
3.4. ELABORACIÓN DE LADRILLOS A ESCALA DE LABORATORIO	40
3.4.1. Diseño de Mezcla..	40
3.4.2. Elaboración de Probetas en el Laboratorio. n.	43
3.4.3. Caracterización de los Ejemplares.....	46
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	49
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) ALGODONAL.....	49
4.1.1. Generalidades.....	49
4.1.2. Lodos Generados en la Potabilización y Tratamiento dado.	59
4.1.3. Cantidad de Lodo Generado.	60
4.1.4. Características Físicoquímicas de los Lodos Aluminosos.	64
4.2. REUSO DEL LODO ALUMINOSO EN LA FABRICACIÓN DE UN PRODUCTO CERÁMICO.....	69
4.2.1. Características de la Arcilla Atomizada.....	69
4.2.2. Caracterización de los Ejemplares Cerámicos Elaborados.....	70
5. CONCLUSIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	94

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño de un Planta con un esquema de tratamiento de agua de tipo Convencional.	27
Figura 2. Productos de hidrólisis formados por la reacción del ión de aluminio con el agua y la alcalinidad.	28
Figura 3. Diagrama de Flujo de las actividades del proyecto.	35
Figura 4. Diseño de la mezcla para la elaboración de las Probetas.	42
Figura 5. Elaboración de las probetas en el Laboratorio.	44
Figura 6. Curva de calentamiento en la fase de cocción de las probetas.	45
Figura 7. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Algodonal.	50
Figura 8. Dibujo a mano alzada de la PTAP Algodonal.	51
Figura 9. Desarenadores de la PTAP: funcionamiento y limpieza.	52
Figura 10. Diagrama de una Canaleta Parshall.	53
Figura 11. Formación de Floc en los Floculadores de la PTAP.	55
Figura 12. Técnica de Lavado en los tanques usado por los operadores de la PTAP	56
Figura 13. Filtro de la PTAP.....	58
Figura 14. Producción en promedio mensual de Lodo en la PTAP.....	61
Figura 15. Producción diaria de Lodo en la PTAP durante el periodo Noviembre 2013 a Junio 2014	62
Figura 16. Producción total de lodo en la PTAP durante los meses de Noviembre 2013 a Junio 2014	63
Figura 17. Difractogramas de la MLA Invierno (a) y Verano (b).....	66
Figura 18. Superposición de los perfiles de Difracción.	69
Figura 19. Análisis elemental EDS de la Arcilla Atomizada.	70
Figura 20. Probetas Elaboradas en el Laboratorio.....	71

Figura 21. Densidades de las probetas por Etapa de Elaboración.	75
Figura 22. Capacidad de Absorción de las Probetas.	77
Figura 23. Resistencia a Compresión de las Probetas.	80
Figura 24. Resistencia a Compresión en términos de la NTC 4205	82

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de las aguas residuales provenientes de un proceso de potabilización.	29
Tabla 2. Análisis para la caracterización del lodo Aluminoso.	38
Tabla 3. Condiciones del Difractómetro para la toma de datos de DRX	40
Tabla 4. Mezclas de material para la Elaboración de las Probetas.....	41
Tabla 5. Análisis para la caracterización de las Probetas.....	46
Tabla 6. Resultados de Análisis Fisicoquímicos a las MLA.	65
Tabla 7. Porcentajes de contracción en Verde y Cocción.....	73
Tabla 8. Resumen de los Resultados reportados en el Ensayo de Resistencia a Compresión.....	80

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PROTOCOLO PARA LA RECOLECCIÓN DE LODOS.	95
ANEXO B. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS.....	98
ANEXO C. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	115

RESUMEN

TÍTULO	CARACTERIZACIÓN Y REUSO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL RÍO ALGODONAL EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA*
AUTOR	LISBETH JACKELINE LÓPEZ SALAZAR**
PALABRAS CLAVES	Lodos, Tratamiento de Agua Potable, Ladrillos cerámicos, Arcilla Atomizada, Potabilización, Resistencia Mecánica, Contracción, Prensado

DESCRIPCIÓN

Hay una creciente preocupación por indagar en el mejor tratamiento y disposición final de los residuos producidos en la potabilización del agua. Usualmente estos residuos, denominados lodos, son descartados directamente al agua alterando la composición microbiológica y fisicoquímica del recurso y por tanto, el equilibrio del ecosistema acuático.

Dichos lodos han sido reseñados por otros investigadores como insumos para ser reusados a nivel de agricultura, construcción y mampostería. Para el presente trabajo de aplicación, el interés se centró en el reuso de estos lodos en la elaboración de ladrillos cerámicos a escala de laboratorio en forma de probetas cilíndricas.

Los lodos fueron muestreados en los Sedimentadores y Floculadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Ocaña, procesados y caracterizados antes y después de la elaboración de las probetas. Los ensayos aplicados a los lodos incluyeron análisis por DRX y AA. Posteriormente, se diseñó 4 tipos de mezclas en diferentes proporciones entre lodo y pasta de arcilla roja atomizada y se elaboraron 6 tipos de probetas con diferentes mezclas mediante técnica de Prensado. Los productos sinterizados a 950°C fueron sometidos a 4 ensayos diferentes para rastrear su calidad física y resistencia mecánica conforme a la NTC 4017.

Los resultados evidencian que el lodo puede emplearse como componente de la mezcla en una proporción 30/70%wt.

.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Directora: Luz Yolanda Vargas Fiallo. Química, M.Sc. Química

ABSTRACT

TITLE CHARACTERIZATION AND REUSE OF SLUDGE PRODUCED IN THE POTABLE WATER TREATMENT PLANT OF THE ALGODONAL RIVER IN THE MUNICIPALITY OF OCAÑA*

AUTHOR LISBETH JACKELINE LÓPEZ SALAZAR**

KEY WORDS Sludge, potable water treatment plant, ceramic brick, atomized clay, purification, mechanical resistance, contraction, pressing.

DESCRIPTION

There is an increasing concern to find out the best treatment and final disposition for the produced residues in the purification of water. These residues, named sludge, are usually rejected directly to water altering the microbiological and physicochemical of this resource, therefore, the balance of the aquatic ecosystem.

These residues were identified by other researchers as an interest element that can be reused at the level of agriculture, construction and rubble work. To carry out this work, the interest was focused on the reused of the sludge for the manufacturing of ceramic bricks on laboratory scale to create the cylindrical probes.

The sludge was sampled in the flocculator and settling tanks of the potable water treatment plant at Ocaña Municipality, processed and characterized before and after the build-up of the test tubes. The sludge characterization included analysis by XRD and AA. Furthermore, it was designed 4 types of mixtures in different proportions of sludge and red atomized clay, so it was build-up 6 types of probes with different mixtures using a pressing technique. The sintered products at 950°C were tested in four different tests for tracking physical qualities and mechanical resistance according to NTC 4017.

The results showed that the sludge can be used as a component of the mixture in a percentage of 30/70%wt.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Directora: Luz Yolanda Vargas Fiallo. Química, M.Sc. Química.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de Aplicación se desarrolló en las instalaciones de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña, E.S.P.O. S.A, Norte de Santander, quien capta agua del Rio Algodonal, para su tratamiento y distribución a las tres cuartas partes de la población ocañera.

El proceso aplicado al agua para tratarla requiere el uso de reactivos químicos y se divide en diferentes etapas; en estas etapas así mismo, se generan desechos, conocidos como lodos. Estos lodos generados, especialmente en los tanques Floculadores y sedimentadores, con cantidades conocidas de sulfato de aluminio y cal, despertaron el interés en el campo de la química ambiental, pues suponen ser un insumo para ser utilizados como un agregado de la mezcla en la elaboración de Ladrillos Cerámicos.

Este trabajo de aplicación buscó abordar la problemática, estudiando muestras de lodos y luego, reusándolas. Para ello, se definió una metodología de trabajo que inició desde un muestreo pasando por una caracterización fisicoquímica del lodo húmedo y seco, y posteriormente, un diseño de mezclas, elaboración de probetas cilíndricas y pruebas de calidad a las unidades fabricadas.

A lo largo del trabajo se presentan los resultados del estudio en diferentes secciones:

En una primera parte, se describen cualitativamente los lodos generados durante la potabilización del agua en la planta de Tratamiento, donde es posible entender el diseño y funcionamiento de esta, los insumos empleados y el tratamiento dado a los desechos. Así mismo, el seguimiento aplicado permitió estimar teóricamente

la cantidad de lodos generados en los sedimentadores durante la potabilización del agua en diferentes épocas y meses del año.

Como segunda parte, se presentan los resultados de las pruebas fisicoquímicas aplicadas a los lodos húmedos y secos los cuales permitieron entender la composición de los lodos y proyectar su reuso en la industria cerámica. La contrastación con la literatura, permitió pensar en posibles proporciones para el diseño de la mezcla. Esto último se presenta en la última parte del documento.

En la última parte del documento, se detallan las mezclas y el proceso aplicado para llevar la mezcla al producto sinterizado y la eficiencia de éstos en términos de humedad y resistencia a la compresión. En este último capítulo se define el porcentaje de mezcla que obtuvo los mejores resultados en las pruebas desde el análisis de la norma NTC-4017.

Finalmente, se presentan conclusiones y se anexan los resultados de las pruebas aplicadas a los lodos en las diferentes etapas del estudio.

1. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua como principal recurso para la actividad humana, se obtiene de fuentes fluviales como ríos, de escorrentía subterránea a través de la excavación de pozos y en menor medida, de fuentes pluviales. Siendo cual fuere la fuente, el aprovechamiento del recurso demanda un proceso de depuración para evitar el contagio y disipación de enfermedades y cuyo producto sea atractivo a nivel organoléptico. Este servicio es prestado por empresas públicas y sus instalaciones se encuentran próximas a la fuente que provee el recurso.

Para depurar el agua es necesario diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que tenga al menos las siguientes etapas: captación, desarenador, bombeo de baja, floculación y sedimentación, filtración y desinfección. Este diseño asegura que el agua cruda que ingresa sea tratada en sus aspectos microbiológicos y fisicoquímicos y al final, sea agua potable para uso de la población.

Este proceso, aparentemente simple, genera residuos que corresponden a los contaminantes que se encontraban en el agua cruda y pueden estar en el orden de 0.3 a 1% del volumen de agua tratada (1) . Su producción puede ser alarmante, en la actualidad a nivel mundial supera las 10.000 toneladas diarias (2). Dichos residuos se denominan Lodos y se generan en al menos tres de las etapas: en el desarenador, en el sedimentador y en los filtros. Los primeros lodos contienen mayormente materia orgánica y por tanto contenido microbiológico, además de partículas de arena, limo y arcilla; debido a que es la primera etapa del proceso, serán los volúmenes más considerables que la empresa tendrá que

manipular. Los otros dos lodos, provenientes del sedimentador y los filtros, tendrán contenidos específicos pero variables de coagulantes usados en la etapa de floculación/coagulación como sales de aluminio y/o hierro y ayudantes de coagulación, por ejemplo, el álcali usado para estabilizar el pH básico en que dichos químicos funcionan adecuadamente.

Los operadores en la PTAP hacen pruebas rutinarias para asegurar la calidad del agua antes de suministrar el recurso a la población beneficiada así como pruebas previas para cuantificar las dosis óptimas de los químicos a emplear. Sin embargo, el tema de los residuos escapa de la dinámica del funcionamiento de la planta y se queda en la purga, vaciado y limpieza periódica de los tanques. La situación se convierte en un problema porque la disposición final que se da a estos lodos termina en el descarte directo en el cuerpo de agua (3) o, su acumulación temporal en lagunas de almacenamiento o vertederos sanitarios, generando un alto impacto ambiental dado a su naturaleza química. Por lo tanto, es sólo una cuestión de tiempo antes que el tema se torne alarmante y éstos se conviertan en pasivos ambientales (4).

El manejo, tratamiento y disposición de dichos lodos es un problema importante que en Colombia y Latinoamérica no ha sido resuelto, contando con pocas experiencias sobre alternativas económicamente viables para países en vías de desarrollo como el nuestro (5).

En Ocaña, Norte de Santander, esta problemática se hace evidente en las instalaciones de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña, ESPO S.A. La empresa tiene bajo su manejo dos plantas de tratamiento, de las cuales, la PTAP del Río Algodonal, es la que surte del recurso a las tres cuartas partes de la población. Diariamente se captan en promedio, 220 L/s de agua cruda para su tratamiento. La empresa no posee un sistema de control y/o tratamiento de los lodos, aunado al desconocimiento de la cantidad y calidad de estos residuos que

se descartan directamente al cuerpo de agua, aguas abajo. Este descarte se hace dos veces por semana en los desarenadores y una vez al mes en los sedimentadores y filtros.

Características microbiológicas, físicas (color, sabor, turbidez, pH, sólidos) y químicas (especialmente Aluminio residual, alcalinidad y dureza) se alteran cuando se diluyen en el agua los subproductos de la potabilización río abajo. Desde el punto de vista estético, la descarga de los residuos de tratamiento de aguas es perjudicial, porque aumenta considerablemente la turbiedad y el color de las aguas receptoras, disminuyendo sensiblemente su capacidad como lugar de esparcimiento y recreo. A nivel óptico, por ejemplo, un incremento de la turbidez y del color disminuirá la penetración de la luz trayendo como consecuencia, la disminución de la actividad fotosintética de la flora acuática (6). Esto implica por tanto, una afectación a nivel trófico.

1.1. HIPÓTESIS

Los lodos generados en el tratamiento del agua potable, con cantidades conocidas de sulfato de aluminio y cal, pueden ser usados como un agregado de la mezcla para la elaboración de Ladrillos Cerámicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General. Caracterizar los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del río Algodonal en el Municipio de Ocaña y evaluar su reuso industrial.

1.2.2. Objetivos Específicos. Para el logro del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Describir cualitativamente los lodos generados durante la potabilización del agua en la planta de Tratamiento.
- Determinar la cantidad de lodos generados en los sedimentadores durante la potabilización del agua.
- Caracterizar fisicoquímicamente los lodos generados en la etapa de floculación/coagulación de la potabilización del agua.
- Realizar mezclas entre lodos y material cerámico para definir el porcentaje óptimo que permita elaborar ladrillos en el laboratorio.
- Aplicar ensayos a las unidades fabricadas conforme a la NTC-4017 para monitorear su calidad.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La preocupación creciente de dar un tratamiento adecuado de los residuos generados en la potabilización del agua ha inspirado a muchos grupos de investigación con enfoque ambiental, a pensar en una forma alternativa para utilizar estos lodos como materia prima en actividades variadas. Es por ello que se ha adelantado investigaciones donde se evaluarán estos lodos en la elaboración de cemento-clinker; aplicación en suelos (elaboración de brechas cortafuego en suelos forestales y, en menor grado, aprovechado como mejorador de suelos en invernaderos); elaboración de productos de la construcción (tabicones); elaboración de productos cerámicos de alfarería (vasijas ornamentales y ladrillos); elaboración de adsorbentes y catalizadores a base de alúmina, y recirculación de lodos en el tren de tratamiento de plantas potabilizadoras (Ramírez, 2005).

El uso de estos lodos en la elaboración de ladrillos es una estrategia ambiental respaldada por estudios a nivel nacional e internacional y responde a las

demandas actuales de conservación del planeta, manejo integral de residuos, ahorro de material inerte y su reuso.

Ejecutar esta idea de investigación favoreció además, el desarrollo del conocimiento y el fortalecimiento de la comunidad científica en la medida en que permitió a nivel de pregrado, desplegar en La Etapa 3 –Reuso Industrial de Lodos Aluminosos de Aguas Crudas-, un trabajo alterno como tesis de grado para una estudiante de Química que aún se encuentra en desarrollo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El estudio de los residuos de la potabilización del agua ha sido un tema alarmante que ha generado iniciativas de investigación a nivel nacional e internacional. Los trabajos citados referencian estudios sobre la naturaleza de los lodos y su disposición, esto último referido al procesamiento para su descarte o posible reuso a nivel industrial.

Cacua y Saravia (2008) presentan como tesis de pregrado en Ingeniería Química (Bucaramanga, Colombia) un diseño conceptual para el tratamiento de lodos a partir del acondicionamiento de éstos residuos con polímeros y posterior deshidratación a fin de reducir su volumen y ser descartados. Sin embargo, antes de ser descartados, resaltan la necesidad de hacer pruebas de toxicidad.

Johnson (2005) mostró la viabilidad de coagular los lodos generados en la PTAP de Winterton Holme (Londres) con un aglutinante formado por cemento etringita y ceniza de combustible; el resultado es una forma de suelo granular el cual puede ser transportado con facilidad para ser desechado en una escombrera pasadas 6 horas. Estos lodos no se reforman en presencia de lluvias reduciendo el volumen y el valor por tonelaje, un dato interesante a nivel de costos para su descarte en la escombrera.

Rak y Kucharski (2009) en su estudio en la PTAP de Rzeszow (Polonia) reajustaron los lodos generados antes de su descarte en un cuerpo de agua implementando una deshidratación tecnológica. Obtuvieron así, lodos granulados con más del 75% de partes minerales viables para construcción. Otra opción que

presentan es el uso de éstos en agricultura una vez se higienicen con cal, por ejemplo, para evitar el envenenamiento del suelo a causa de *Salmonela*.

Hernández, Villegas, Castaño y Paredes (2006), investigadores de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia), usaron lodos de aguas crudas para elaborar ladrillos cerámicos que aprobaran pruebas de control de calidad como resistencia a compresión y absorción de humedad. Tras la caracterización de los lodos y su reemplazo en diferentes porcentajes en la mezcla, los ladrillos que fabricaron no superaron las pruebas. Años más tarde, dos de estos investigadores retomaron su estudio, optimizando los lodos.

Chiang, Chou y Chien (2009) investigadores del departamento de Ingeniería y Ciencia del Medio Ambiente de la Feng-Chia University (Taiwán) buscaron reusar dos productos de desecho para elaborar ladrillos; de esta forma mezclaron lodos provenientes de una PTAP y cenizas de la cascarilla de arroz, que contiene gran cantidad de sílice. Los ladrillos superaron las pruebas de resistencia mecánica cocidos a 1050°C y con una mezcla de 80% de Lodos y 20% de Ceniza de cascarilla de arroz. De esta manera, los ladrillos pueden ser empleados en construcción y tienen características de ser ligeros y con una baja conductividad térmica.

Torres, Hernández y Paredes (2012), investigadores colombianos de la Universidad del Valle y Universidad Tecnológica de Pereira, muestran la viabilidad del uso de lodo aluminoso en la fabricación de ladrillos cerámicos reemplazando la arena en un 10%; las pruebas de control de calidad revelaron la necesidad de optimizar la deshidratación previa de los lodos para no comprometer la resistencia a la compresión y mejorar su aprovechamiento; de la misma forma, se mostró que este ladrillo cumple características adecuadas para uso no estructural.

Por otra parte, Hegazy, Fouad y Hassanain (2012) elaboraron en la Universidad de Benha (Egipto) ladrillos a partir de lodos de aguas crudas y cenizas de cascarilla de arroz, incorporando de ésta manera, dos residuos de procesos de potabilización y cultivo de arroz, respectivamente. Encontraron resultados positivos a pruebas de control de calidad (especificaciones estándar egipcias) en comparación con ladrillos de arcilla hechos en el laboratorio y los comerciales, definiendo de esta manera una mezcla óptima formada por el 75% de lodos y 25% de cenizas.

Martínez Córdoba, (2012) propone en su trabajo el reuso de los lodos como materia agregada en la fabricación de cemento, industria cerámica, producción de bloques y adoquines tras caracterizar los lodos generados en una PTAP de Quito y encontrar en éstos, presencia de aluminio, hierro y arcillas.

Caniani, Masi, Mancini y Trulli, (2013) demostraron que los lodos generados en la potabilizadora Pugliese (Italia) al mezclarse con una fracción orgánica estabilizada de los sólidos urbanos municipales, generan un compost o biosuelo que puede ser empleado como una cubierta de suelos en vertederos controlados. En el estudio se demostró el bajo riesgo de contaminación para los seres humanos y bajas concentraciones de contaminantes por transferencia hacia el suelo y aguas subterráneas; la toxicidad fue evaluada con la especie *Spartium junctum* mediante la determinación de índices de germinación favorables que avalan el uso de estos lodos en la agricultura.

El uso de los lodos aluminosos ha sido considerado notablemente por estos entre muchos otros investigadores, como un material potencial para ser reutilizado a nivel cerámico, como material de construcción y biosuelo. Sin embargo, en un Review presentado por Babatunde y Zhao (2007), clasifican los reusos de los lodos en cuatro grandes grupos:

- En construcción y materiales de construcción: elaboración de ladrillos, cemento y materiales cementantes, pavimentos y trabajos geotécnicos.
- En el tratamiento de Aguas Residuales: como coagulante, adsorbente de contaminantes, co-acondicionador, sustrato de humedales artificiales.
- Como aplicación a la tierra: para mejorar la estructura del suelo, como suelo buffer, reducción de nutrientes en el suelo y escorrentías.
- Otros usos: digestión de lodos de aguas residuales, silvicultura y jardinería.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

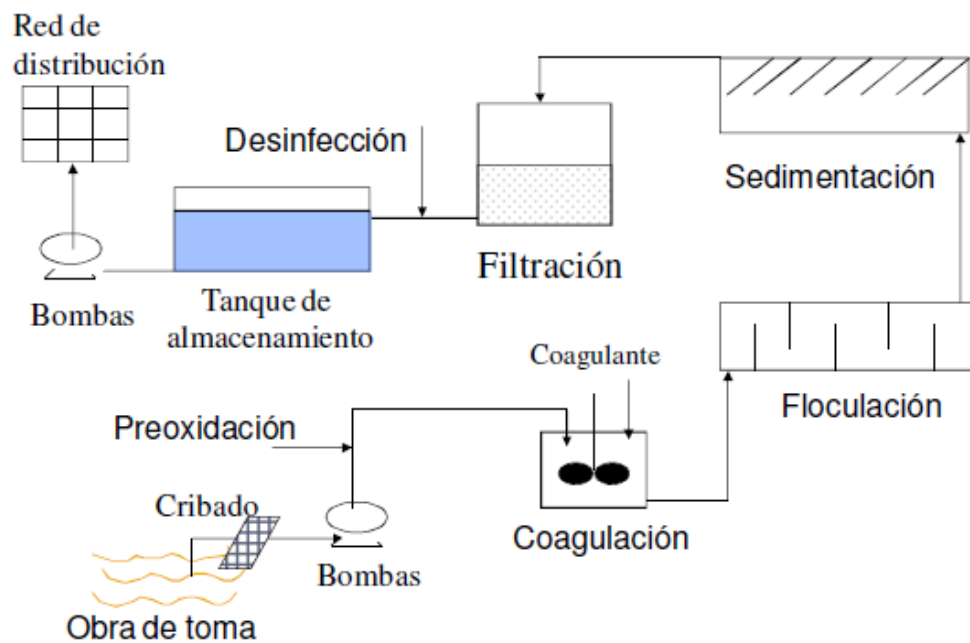
2.2.1. Potabilización Del Agua. La potabilización del agua implica al menos, las siguientes etapas: Cribado, Desarenador, Floculación/Coagulación, Filtración y Desinfección (Ver figura 1). Las dos primeras etapas captarán el agua separando los sólidos grandes en suspensión gracias al cribado y las más pequeñas, como partículas de arena y material orgánico, en los desarenadores. En esta etapa se toman muestras para analizar la turbidez (de origen mineral), color (de origen orgánico) y pH del agua a razón de agregar el coagulante que permita desestabilizar partículas en dispersión como arcillas y limos. De esta forma, el agua pasa ahora a la etapa de floculación/coagulación entendida como un proceso en el que las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, llamadas floc (Arboleda Valencia, 2000, p.30).

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura fracciones de segundo que consiste en interacciones fisicoquímicas entre el coagulante, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Entre los coagulantes más usados destacan las sales de aluminio y hierro, clasificados éstos como coagulantes metálicos. Para el caso, el Sulfato de

Aluminio, coagulante empleado por las plantas de tratamiento de Colombia, cuando está hidratado (en solución acuosa) actúa como un ácido en el sentido Brönsted reaccionando con las bases presentes en el agua expresadas como OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- . El producto final es un hidróxido de aluminio insoluble que precipita a ciertos pH y que puede o no tener carga negativa (ver figura 2).

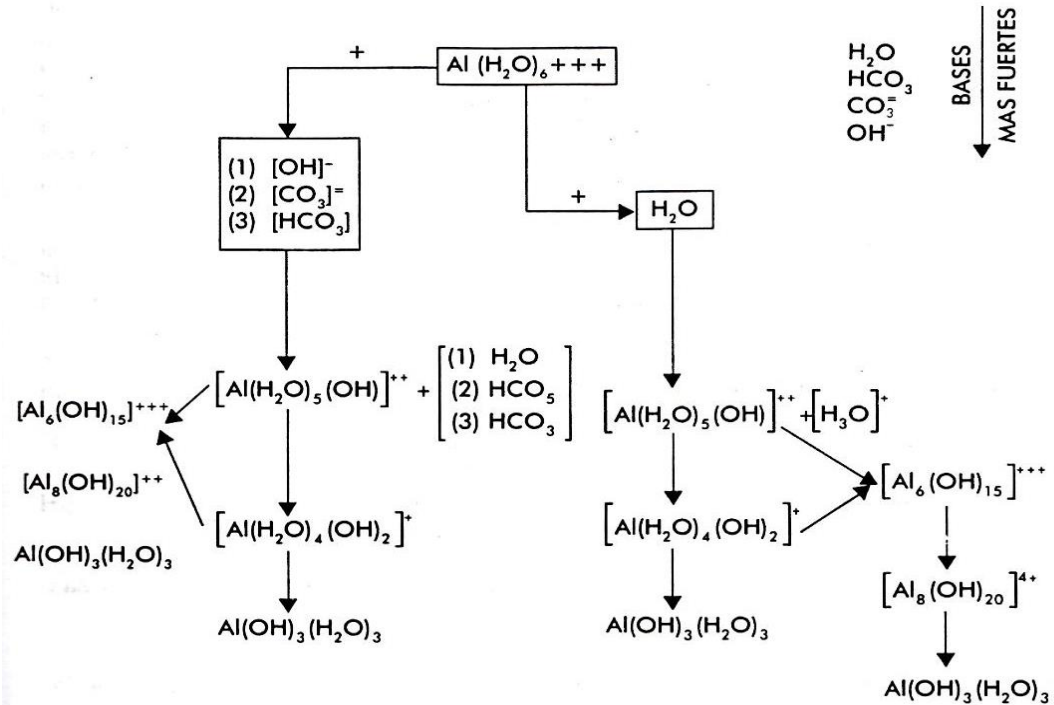
Figura 1. Diseño de un Planta con un esquema de tratamiento de agua de tipo Convencional.



Fuente: Martínez Córdoba, 2012

Una vez se ha formado el Floc debe éste ser separado del agua que está tratándose. Para ello se usa la sedimentación y filtración. La primera, separa los sólidos por densidad acumulándose en el fondo del tanque sedimentador; la segunda separará los sólidos que tienen una densidad muy parecida a la del agua, o que han sido resuspendidos por cualquier causa del flujo (Arboleda Valencia, 2000, p. 199).

Figura 2. Productos de hidrólisis formados por la reacción del ión de aluminio con el agua y la alcalinidad.



Fuente: Arboleda Valencia, 2000, p. 53

La desinfección es la última etapa y con ella se asegura el saneamiento total del agua agregando un químico desinfectante como el cloro gaseoso a fin de erradicar del agua microorganismos patógenos.

2.2.2. Lodos Generados en una PTAP. Los lodos generados en la potabilización constituyen residuos del proceso y pueden representar un gran volumen en el orden de 0.3 a 1% del volumen de agua tratada (Sandoval, 1998). Este volumen de lodo puede variar por el estado y el diseño de la estructura de la PTAP, por la eficiencia del proceso y de la maquinaria empleada (Rak y Kucharski, 2009). Por ejemplo, si el lavado de los tanques sedimentadores se hace con manguera, el volumen de los lodos se incrementará, disminuyendo su densidad, aumentando el tiempo de drenaje y dificultándose procesos de espesamiento y deshidratación.

En ellos hay principalmente agua, sólidos del agua cruda como arcillas, compuestos no minerales, plancton y los químicos agregados durante el tratamiento; estos constituyentes harán que se comporten de forma tixotrópica, sean compresibles y resistentes al espesamiento y deshidratación, especialmente aquellos generados con aguas de baja turbiedad (Cacua y Saravia, 2008, p. 19). Adicionalmente, puede resaltarse que pueden presentar una concentración de sólidos suspendidos correspondiente a valores entre el 75 al 90% de los sólidos totales (ST) y los sólidos volátiles pueden estar entre el 20 y 35% de los ST (Martínez Córdoba, 2012). Otras características se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las aguas residuales provenientes de un proceso de potabilización.

Características	Coagulación con Aluminio	Ablandamiento con Cal	Lavado Ascendente del Filtro
% sólidos	0.2 – 2%	2 – 15%	0.01 – 0.1%
Color	Gris	Blanco	Castaño
Olor	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Recuento Bacteriano	Elevado	Bajo	Elevado
Sedimentabilidad	Pobre: 50% en 8 H	50% en 8 días	80% en 24 H
Fragilidad s ² /g	Pobre 2 x 10 ⁹	Pobre	Pobre
Viscosidad, g/cm-s	0.03 no newtoniano	---	0.01 (agua)
Capacidad de deshidratación	Concentración hasta un 10% de sólidos en 2 días en lechos de arena	Se compacta lentamente hasta un 50% de Humedad en sedimentadores	Debe coagularse y sedimentarse

Fuente: Salgar Hernández, 2006, p. 21

Los lodos presentarán características de acuerdo a la fuente de agua captada para su tratamiento. El agua subterránea puede tener alta alcalinidad dada la presencia de roca subyacente como la tiza y puede ser dura, por acción del

dióxido de carbono, añadido a las sales de los coagulantes empleados e hidróxidos de calcio y magnesio. Por otra parte, los lodos generados de aguas superficiales tienen una apariencia gelatinosa por la presencia de las sales de aluminio, y materia orgánica e inorgánica (como los precipitados de hidróxido de aluminio) (Johnson, 2005).

2.2.3. Métodos de Tratamiento y Disposición de los Lodos. Normalmente los lodos generados en la potabilización se descartan a cursos de aguas o lagos, en el alcantarillado o desagües superficiales, alcantarillado sanitario o en áreas de secado.

Otra opción es incorporar el lodo en el suelo (horizonte A) para la descomposición, estabilización e inmovilización de sus constituyentes lo cual influye en la modificación de las propiedades del suelo y además, el reciclaje de los materiales útiles del lodo. De esta forma, se han utilizado tierras de cultivos, áreas de minería abandonada y en rellenos sanitarios como material de cobertura (Salgar, 2006).

Esta alternativa resulta atractiva especialmente en tierras de cultivo debido a la alcalinidad que presentan los lodos de aguas de potabilización donde fue agregada cal para estabilizar el pH en el que funciona el coagulante. Esto significa para el agricultor una fuente reutilizable de álcali que ayudará a evitar la acidificación del suelo y con ello, mejorar la capacidad de retención del agua.

Los lodos son acondicionados o tratados en menor medida, antes de ser descartados. Los lodos se acondicionan cuando se les agrega polímeros para favorecer la separación del material sólido y líquido en una técnica de deshidratación; normalmente este acondicionamiento desestabiliza las cargas de las partículas sólidas y favorece la aglomeración mediante mecanismos de adsorción y formación de puentes entre las partículas y el polímero (Cacua y Saravia, 2006).

Dentro de los métodos usados para el tratamiento cabe mencionar el espesamiento, secado e incineración. Veamos:

Espesamiento por gravedad: remueve el exceso de agua entre el 30 al 80% por decantación y concentra los sólidos mediante la sedimentación o flotación. Normalmente este tanque de espesamiento es alimentado por un tanque ecualizador. Este último recibe los desagües variables de los sedimentadores y los almacena para luego, direccionarlos con un caudal continuo hacia los espesadores.

Secado Hidráulico: El primero implica que se dispongan los lodos en un área considerable, al espesamiento con un polímero y sobre una capa de arena que contenga un sistema de drenaje. Los lodos pierden su volumen por exposición al clima y posteriormente se remueven para su descarte en un relleno sanitario. Son conocidas como lagunas o lechos de secado.

Secado Mecánico: se lleva a cabo en centrífugas, filtros prensa de banda sin fin, filtros prensas de placa, compresores, filtros de vacío, prensas de tornillo. Este método busca eliminar el contenido líquido. Tiene como desventaja el uso de energía, lo que implica para la planta, costos adicionales al tratamiento del agua potable.

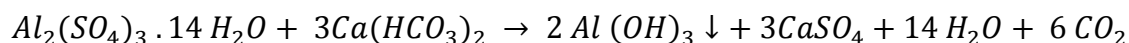
Incineración: proceso de combustión controlado que busca esterilizar el residuo eliminando humedad, compuestos volátiles y obteniendo como producto una ceniza. Este método demanda que el lodo se encuentre en estado seco, para lo cual puede emplearse alguno o ambos de los métodos ya mencionados (espesamiento y/o secado). Si bien el proceso es costoso, dado que se requiere de infraestructura que almacene un volumen considerable y además someta a calentamiento ésta muestra, los resultados son benéficos debido a que reduce considerablemente el residuo. Ahora, para aplicar efectivamente el método es

necesario primero someter los lodos a temperaturas de 100°C para eliminar el agua, luego se incrementa la temperatura del vapor de agua y gases para posteriormente, llevar los lodos secos a punto de ignición.

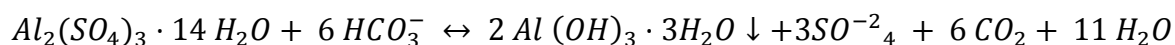
Para una reacción completa y operación apropiada, el proceso requiere combustible, aire, tiempo, temperatura y turbulencia adecuada (Salgar, 2006).

2.2.4. Determinación Teórica de la Cantidad de Lodos Generados por una PTAP. La cantidad de lodos generados durante la etapa de floculación/coagulación en la potabilización del agua, puede calcularse teóricamente teniendo en cuenta el proceso de coagulación. Se sabe además que estos lodos contienen una gran parte de sólidos suspendidos de tal forma, que al estar presentes en el agua cruda, producen un peso equivalente de lodos sólidos por no ser reactivos.

Cuando el sulfato de aluminio se añade al agua la reacción con respecto a la producción de lodos puede representarse por la siguiente reacción en la que se hace evidente el flóculo que precipita:

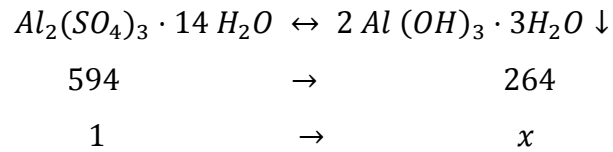


Simplificando la ecuación, tenemos:



Por tanto y en relación a esta ecuación, cuando se agrega un miligramo por litro de sulfato de aluminio añadido al agua producirá aproximadamente 0,44 mg/L de sólidos aluminosos inorgánicos; este valor se obtiene al hacer el respectivo balance de masas. Para esto es necesario recordar que el peso molecular del sulfato de aluminio es de 594 g/mol y el del hidróxido de aluminio es de 264 g/mol.

Lo anterior se representa así:



Aplicando una sencilla regla de tres, se obtiene un factor que permite tener presente el balance de masas.

$$x = \frac{264}{594} = 0,44 \text{ mg/L}$$

Ahora, relacionando estos valores se presenta así la siguiente ecuación:

$$S = 86,4 * Q ((0,44 * Al) + SS + A)$$

Dónde:

S = Lodo producido, base seca (kg/día) para lo cual se aplica el factor 86,4 requerido para presentar los resultados en Kg/día

Q = Caudal de la Planta o gasto de agua (m³/seg)

Al = Dosis de Sulfato de Aluminio (mg/L)

SS = Sólidos suspendidos del agua cruda (mg/L)

A = Otros aditivos –polímero, carbón activado, arcilla- (mg/L)

Es importante destacar que con base en estudios similares se ha determinado que 1 mg/L de sulfato de aluminio agregado para el tratamiento de agua cruda, producirá 0.44 mg/L de sólidos inorgánicos de aluminio (RAMIREZ, 2008).

2.3. BASE LEGAL

Artículos 70 y 72 del Decreto 1594 de 1984 en el que se ha reglamentado parcialmente la Ley 2811 de 1974 en cuanto al uso del agua y residuos líquidos.

Decreto 1541 de 1978. Artículos 211 y 238, que prohíben verter sin tratamiento cualquier tipo de residuo a un cuerpo de agua.

Ley 99 de 1993. Artículo 42, que prohíbe el uso del agua para introducir residuos.

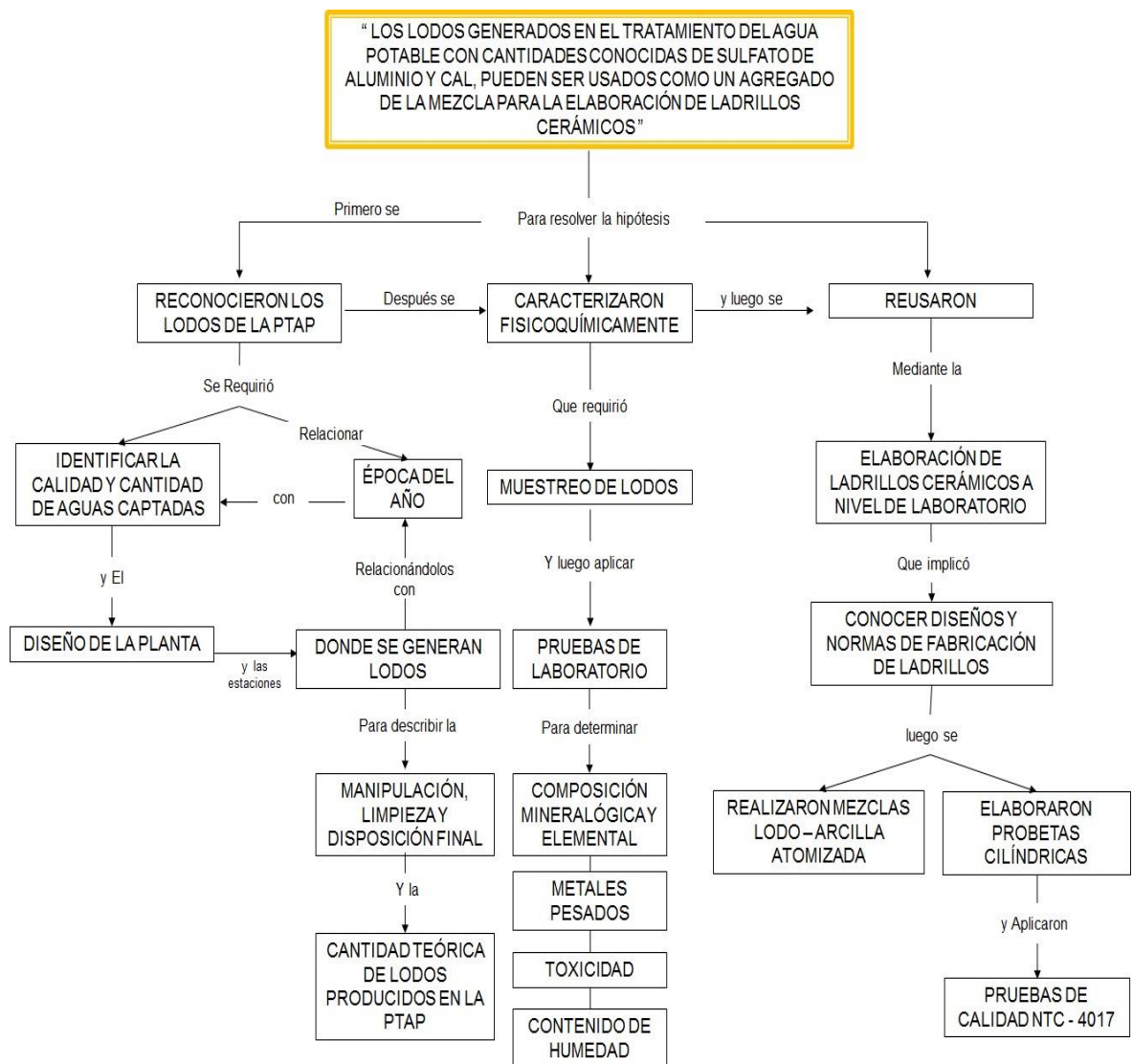
Decreto 3930 de 2010. Artículo 25, que prohíbe el uso del agua para disponer residuos de una potabilizadora.

Decreto 3100 de 2003. Artículo 25. Exige programas de aforo y muestreo continuos y programados para poder medir la variabilidad de componentes indicadores de contaminación hídrica.

3. METODOLOGÍA

En la figura se ilustra el diseño metodológico del proyecto con las actividades desarrolladas para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos.

Figura 3. Diagrama de Flujo de las actividades del proyecto.



3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de lodos se recolectaron en la PTAP Algodonal del municipio de Ocaña (Norte de Santander), la cual es administrada por la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña, S.A.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Consultas Químicas Industriales de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Santander) y las probetas se elaboraron y analizaron en el Laboratorio de Física de Materiales en la Universidad Francisco de Paula Santander (Cúcuta, Norte de Santander). Ver Anexos.

3.2. RECONOCIMIENTO DE LOS LODOS

3.2.1. Familiarización con el Funcionamiento de la PTAP. Mediante visitas a la Planta y entrevistas con los operadores de turno, se indagó en el funcionamiento de la PTAP aspectos como las estaciones que conforman el diseño de la Planta para el tratamiento del agua, el funcionamiento, el caudal del cuerpo de agua recolectado, los parámetros aplicados al agua cruda, los reactivos usados y reportes diligenciados en la rutina de la Planta.

3.2.2. Identificación de las estaciones donde se produce Lodo y la limpieza de tanques. Mediante visitas y entrevistas, se registraron los momentos en que se hace limpieza de las diferentes estaciones donde se producen y acumulan los lodos. Se indagó por las frecuencia de dicha limpieza, eficiencia de los equipos o maquinaria empleada, el tratamiento dado y la disposición final de estos residuos.

3.2.3. Cuantificación Teórica de los lodos Aluminosos. A partir de los datos recolectados y de la revisión bibliográfica, se determina un valor teórico de los

lodos aluminosos producidos y se presenta un resultado en peso/volumen, es decir, kg lodos/L agua tratada.

3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS ALUMINOSOS

3.3.1. Muestreo. El muestreo se desarrolló con el Protocolo diseñado para la recolección de lodos aluminosos (Ver Anexo A) en los días que la empresa programó la limpieza de tanques en la PTAP. Se recolectaron muestras puntuales sólo en floculadores y sedimentadores siguiendo una metodología de doble zigzag.

Se realizaron dos muestreos: el primero en época de invierno (Noviembre 11 y 12 de 2013) y el segundo, en verano (Abril 6 al 10 de 2014), haciendo un recorrido de doble zigzag en el tanque una vez se había desaguado el agua. Se muestrearon los tanques sedimentadores N°1 (IS1) y N°2 (IS2) en noviembre, y los sedimentadores y floculadores N°1 (VS1 – VF1), N°2 (VS2 – VF2) y N°4 (VS4 – VF4) en abril.

Se recolectaron 23 muestras puntuales en cada tanque y se mezclaron en un recipiente para conformar a partir de ellas, las muestras compuestas. Se transportaron al laboratorio por cada tanque, 4 muestras compuestas de 500 g.

El lodo sobrante fue almacenado a temperatura ambiente debidamente rotulado.

3.3.2. Procesamiento de las Muestras de Lodos Aluminosos (MLA) en el Laboratorio. En el laboratorio las MLA fueron vertidas en vaso de precipitado de 2000 mL y tras su sedimentación, se decantaron para eliminar la mayor cantidad posible de agua. Posteriormente, se vertieron en recipientes de aluminio y se secaron a 40°C por 7 horas hasta lograr una consistencia semisólida. Finalmente

se sometieron a 24 horas de calentamiento a 100°C para obtener una muestra totalmente sólida.

Las MLA se homogeneizaron usando mortero y pistilo y luego, se tamizaron usando un Tamiz N° 35 Mesh usando el pasante. La muestra obtenida tiene partículas homogéneas de 500 micrones y es empacada y rotulada para los análisis posteriores. Los rótulos usados fueron: IS1 (Invierno Sedimentador 1), IS2 (Invierno Sedimentador 2), VS (Verano Sedimentador) y VF (Verano Floculador).

No se aplica ningún aditivo, reactivo o conservante.

3.3.3. Caracterización Fisicoquímica de los Lodos Aluminosos. La MLA procesada se analiza en términos de composición mineralógica y elemental, Sólidos Suspendidos Volátiles, Carbono orgánico total, Toxicidad, Cenizas y pH. Los análisis aplicados a las muestras en el Laboratorio de Consultas Industriales, se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis para la caracterización del lodo Aluminoso.

Parámetro	Método / Norma
pH (Unidades de pH)	Potenciométrico / SM 5264
Cenizas (%)	Potenciométrico / SM 5264
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Total (%C)	Titrimétrico / NTC 5167
Aluminio Total (%Al)	Espectrofotométrico / NTC 5167
Hierro (%Fe)	Absorción Atómica / EPA 3050 E y SM 3111 D
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	Absorción Atómica / EPA 3050 B y SM 3111 B
Sodio (mg Na/kg)	Turbidímetro / SM 4500 -SO ₄ ⁻² E
Potasio (%K)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B

Tabla 2. (Continuación)

Parámetro	Método / Norma
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B
Arsénico (mg As/kg)	Absorción Atómica / NTC 5167
Cromo (mg Cr/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B y EPA 7062
Plomo (mg Pb/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 D
Magnesio (%Mg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B
Cadmio (mg Cd/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B
Níquel (mg Ni/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B
Cobre (mg Cu/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B
Cinc (mg Zn/kg)	Absorción Atómica / EPA 3050 B, SM 3111 B

Para identificar las fases cristalinas, las muestras son procesadas en el Laboratorio de Difracción de Rayos X de la Universidad ubicado en el Parque Tecnológico de Guatiguará. Las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata y llevadas a un tamaño de 38 micrones (400 mesh). El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.

La toma de datos de difracción se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las condiciones descritas en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones del Difractómetro para la toma de datos de DRX

Descripción	Valor
Voltaje	40 kV
Corriente	30 mA
Rendija de divergencia	0.6 mm
Rendijas Soller Primario	2.5°
Muestreo	0.01526° 2theta
Rango de Medición	3.5 – 7.0° 2theta
Radiación	CuK α 1
Filtro	Níquel
Detector	Lineal LynxEye
Tipo de Barrido	A pasos
Tipo de muestreo	0.4 segundos

3.4. ELABORACIÓN DE LADRILLOS A ESCALA DE LABORATORIO

3.4.1. Diseño de Mezcla. En el Laboratorio de Física de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander, se prepararon por triplicado 6 tipos de probetas cilíndricas con mezcla de lodos aluminosos y pasta cerámica atomizada con porcentajes en peso (%wt) definidos en la tabla 4.

Se puede observar en esta tabla que la concentración de lodo varió entre el 10% y 40%, acorde a lo reportado por HEGAZY (2002) y CHIANG (2009), quienes encontraron mezclas óptimas de lodo entre el 25% y 30% respectivamente, para lodos de plantas de tratamiento de aguas potables en Egipto y Taiwán.

Tabla 4. Mezclas de material para la Elaboración de las Probetas.

No	Código	Descripción % en Peso	Humedad	Presión (psi)
1	0	100% Lodo Aluminoso	20%	1000
2	91	90% Arcilla Atomizada, 10% Lodo Aluminoso	20%	1000
3	82	80% Arcilla Atomizada, 20% Lodo Aluminoso	20%	1000
4	73	70% Arcilla Atomizada, 30% Lodo Aluminoso	20%	1000
5	64	60% Arcilla Atomizada, 40% Lodo Aluminoso	20%	1000
6	100	100% Arcilla Atomizada	20%	1000

Para las mezclas, se utilizó pasta de arcilla roja atomizada (Spray-dried) suministrada por la empresa Cerámica Italia S.A (Cúcuta-Norte de Santander), la cual es usada en la fabricación por prensado de baldosas esmaltadas para pared y pisos (7).

Para la integración de los lodos a la pasta cerámica, se procedió de la siguiente manera:

- Los polvos de lodo aluminoso y arcilla atomizada se secaron en estufa de circulación forzada Binder ED 115 L a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 5 horas, para retirar la humedad y conocer la masa real correspondiente a los porcentajes en peso definidos en la tabla 4 para cada mezcla.
- Con los polvos (lodo y arcilla) secos, se realizaron las mezclas en %wt definidas tomando como base 1000 g de masa total.
- Los 1000 g de masa total de cada mezcla, se homogenizaron usando 80%wt de agua destilada mediante un homogenizador mecánico a 350 r.p.m. durante 1 hora. Lo anterior, se realizó con el objeto de obtener una buena integración de los lodos a la arcilla y así obtener una barbotina de lodo-arcilla.

- La barbotina anterior, se sometió a proceso de secado en estufa de circulación forzada a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, por 24 horas, tiempo en el cual la masa fue constante.
- Con la mezcla (lodo-arcilla) seca, se procedió a realizar molienda manual, usando molino de disco artesanal. Posteriormente se hizo pasar los polvos por tamiz ASTM 35 ($500 \mu\text{m}$), seleccionándose el pasante. Dicho proceso se repitió, hasta que toda la muestra fue tamizada; seguidamente se empacó, rotuló y se depositó en el interior de una campana con silica gel para control de la humedad.

En la figura 4 se presenta una secuencia de imágenes digitales del proceso de integración de las mezclas.

Figura 4. Diseño de la mezcla para la elaboración de las Probetas.



3.4.2. Elaboración de Probetas en el Laboratorio. Con las mezclas integradas de lodo y arcilla se conformaron por triplicado probetas cilíndricas que fueron sometidas a 3 procesos consecutivos: prensado, secado y cocción.

El proceso usado para elaborar las probetas en el laboratorio se describe a continuación.

Conformado de Probetas:

- Para la elaboración de los ejemplares macizos¹ se pesaron (Balanza analítica Sartorius TE 153S ± 0.001 g) 100 g de cada una de las mezclas y humectaron con 20%wt de agua destilada.
- Posteriormente se aplicó prensado uniaxial a 1000 Psi (70.31 kgf/cm²) usando una prensa hidráulica manual, obteniéndose probetas cilíndricas de 44.5 mm de diámetro y altura variable. La presión se aplicó en cuatro momentos: primero hasta 250 Psi, luego a 500, 750 y 1000 Psi respectivamente, dejando reposar 5 minutos antes de aumentar la presión.
- Finalmente se desmolda y se obtiene la probeta; ésta se pesa (m_0 = masa después del prensado) y se toman las dimensiones D, h (D_0 = diámetro después del prensado y h_0 = altura después del prensado) con el Digital Caliper Within 300 mm.

En la figura 5 se presenta una secuencia de imágenes digitales del proceso de elaboración o conformación de las Probetas.

¹ Son unidades sin perforaciones o que si las tienen no exceden el 25% del volumen total de la unidad. NTC 4205. p. 5

Secado de Probetas:

- Los ejemplares se secaron a temperatura ambiente durante 24 horas y luego a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas en estufa de circulación forzada (Binder ED 115 L).
- Evaporada la humedad de la probeta, se permite el enfriamiento hasta temperatura ambiente, se pesan (m_1 = masa después del secado) y se toman nuevamente las dimensiones D , h (D_1 = diámetro después del secado y h_1 = altura después del secado).

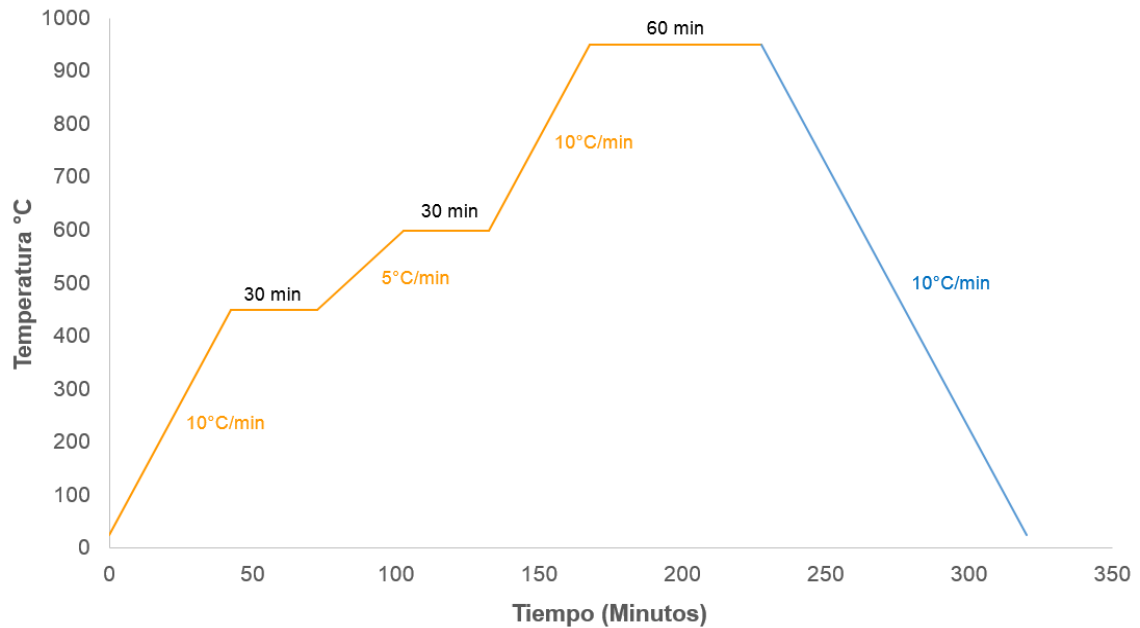
Figura 5. Elaboración de las probetas en el Laboratorio.



Sinterización o Cocción de las Probetas:

- Las probetas secas se someten a cocción en una Mufla Vulcan D-130 programada con una curva de cocción que se presenta en la figura 6.

Figura 6. Curva de calentamiento en la fase de cocción de las probetas.



En ésta se aprecia que la muestra se introduce en la mufla a temperatura ambiente posteriormente y a una razón de 10°C/min se lleva a una temperatura de 450°C manteniéndose en ésta temperatura por 30 minutos. Seguidamente y a una razón de 5°C/min se incrementa la temperatura hasta 600°C también manteniéndose 30 minutos a dicha temperatura. Luego se incrementa a razón de 10°C/min la temperatura hasta alcanzar la temperatura máxima de 950°C manteniéndose por 60 minutos en dicha temperatura. El proceso de enfriamiento se realizó a 10°C/min hasta alcanzar la temperatura ambiente.

De lo anterior, se infiere que el tiempo total del tratamiento térmico o sinterización de las probetas fue de 320 minutos.

- Una vez sinterizadas las muestras se pesan (m_2 = masa después del sinterizado) y se toman nuevamente las dimensiones D , h (D_2 = diámetro después del sinterizado y h_2 = altura después del sinterizado).

La curva propuesta tiene 3 rampas de calentamiento y tiene en cuenta el cambio de la fase α - cuarzo a β - cuarzo, el cambio de fase ocurre a los 573°C (7); razón por la cual la velocidad de calentamiento en este rango de temperaturas fue de 5°C/min y en las demás a 10°C/min.

3.4.3. Caracterización de los Ejemplares. Se eligieron 4 ensayos para caracterizar los ejemplares macizos, éstos se citan en la tabla 5.

La densidad (g/cm^3) de los productos sinterizados en gramo por centímetro cúbico es el cociente de su peso seco (m_2) dividido por el volumen teórico ($v = h_2 \cdot \pi \cdot r_2^2$).

Tabla 5. Análisis para la caracterización de las Probetas.

Parámetro		Método/Norma
Propiedades Físicas	Densidad	NTC 4017
	Contracción en Verde y Cocido	ASTM C326-09
	Capacidad de Absorción	NTC 4017, NTC 4205
Propiedad Mecánica	Resistencia a la Compresión	NTC 4017, NTC 4205

La contracción en verde y cocido permitió determinar la variación de las dimensiones de los ejemplares macizos elaborados con la mezcla de arcilla, lodo aluminoso y agua. Esta prueba se calculó a partir de las dimensiones registradas en cada etapa con el micrómetro digital. Se presentan dos resultados:

- $\%C_s$ = Contracción de humedad en el secado (de verde a seco). Calculada en el ejemplar macizo cuando pierde gradualmente agua al evaporarse durante el secado, usando la siguiente ecuación:

$$\%C_s = \frac{m_o - m_1}{m_o} \times 100$$

Donde

m_o masa después del prensado

m_1 masa después del secado

- $\%C_c$ = Contracción en Cocido. Calculada en el ejemplar macizo una vez ha sido sinterizado, usando la siguiente ecuación:

$$\%C_s = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde

m_1 masa después del secado

m_2 masa después de la cocción

La capacidad de absorción de agua se aplica por ensayo de absorción por ebullición durante 1 hora conforme a la NTC 4017. Los resultados se reportan de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{w_b - w_s}{w_s} \times 100$$

Donde

w_b masa saturada del espécimen después de la inmersión en agua en ebullición, en g

w_s masa seca el espécimen, en g

El ensayo de resistencia a la compresión se hizo en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander en términos de la NTC 4017 con una Máquina Universal IBERTEST IB-MT2-600-MD2W Serie 112685 con una tasa de carga de 0,1 kN/mm a una velocidad de 0.1 mm/min y

una temperatura de 25°C. Los resultados del ensayo son interpretados conforme a la NTC 4205.

El cálculo de Resistencia del espécimen se realiza con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{W}{A}$$

Donde

- C Resistencia del espécimen a la compresión en Pa x 10⁴ (o kgf/cm²)
- W Carga máxima (de rotura) en N (o kgf) ó la indicada por la máquina de ensayo
- A Promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm²

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) ALGODONAL

4.1.1. Generalidades. La PTAP Algodonal pertenece a la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña, ESPO S.A. y se encuentra ubicada en el Corregimiento La Hermita del Municipio de Ocaña al lado del Batallón de Infantería N° 15 General Francisco de Paula Santander y de la Subestación de la Empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A E.S.P (Ver figura 7). Las coordenadas de ubicación de la PTAP son:

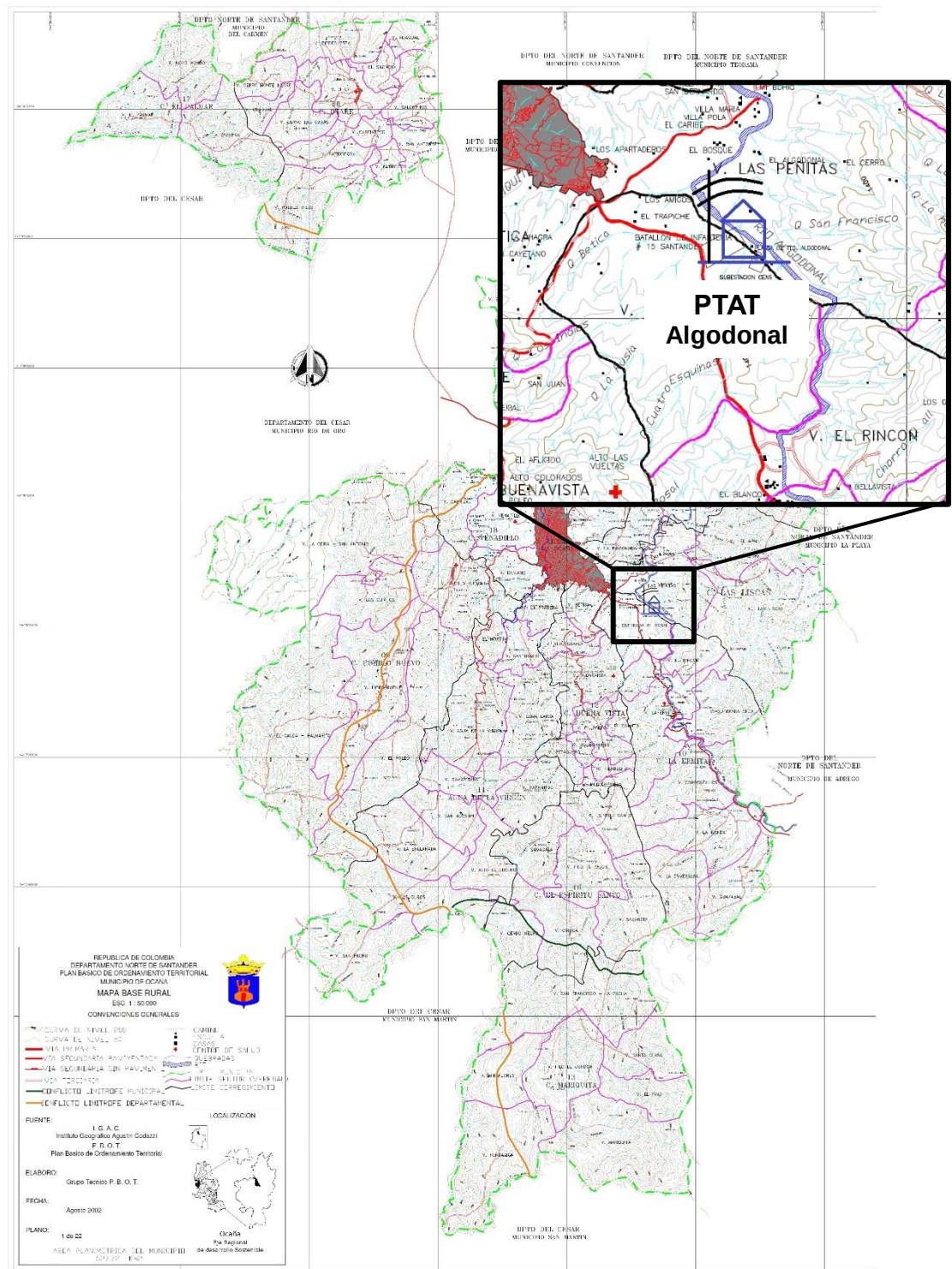
$$X = 1084141$$

$$Y = 1410125$$

La PTAP capta el agua de la cuenca del río Algodonal. El río Algodonal está a una altitud de 1181 msnm, tiene una profundidad entre 120 y 80 cm (UFPS, 2008) y su caudal presenta variaciones a lo largo de su recorrido por las diferentes captaciones, aportes de quebradas y precipitaciones en la parte alta de la cuenca. La oferta del recurso es de 1,180 m³/s (CORPONOR, 2009) y la PTAP sólo capta 220 L/s en promedio, para el tratamiento y distribución a la población.

La cuenca del Río Algodonal ocupa la parte centro oriente del municipio de Ocaña, específicamente los corregimientos de La Ermita, Las Liscas, Buenavista y Portachuelo. Se forma en el municipio de Ábrego por la unión de los ríos Frío y Oroque. Su corriente principal, tiene una longitud de 26,8 km, y su orientación se da en el sentido sur – norte, con una pendiente promedio de 1,30%. La cuenca tiene un área de 126,12 Km², que representa el 27,17% del municipio de Ocaña.

Figura 7. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Algodonal.

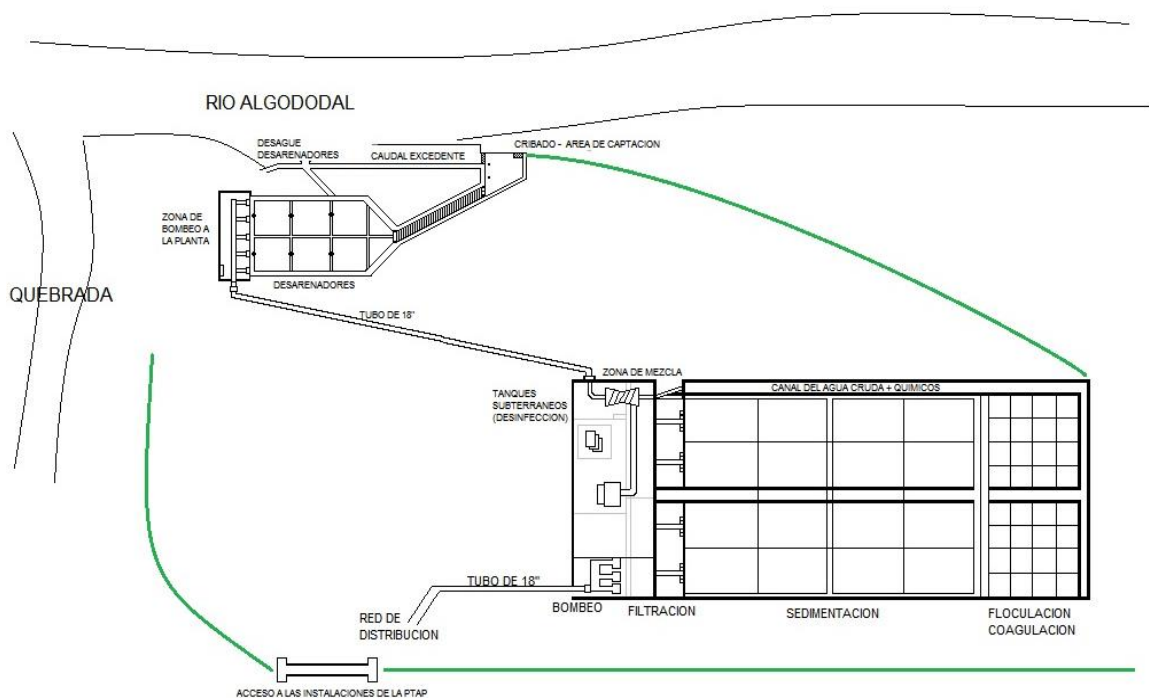


Fuente: PBOT, 2002 – 2011. Alcaldía Municipal de Ocaña, departamento Norte de Santander. Ocaña: Oficina de Planeación Municipal, 2012. p. 547

El nivel de cobertura del servicio de acueducto es de 99,80% (vigencia 2012) reflejado en 24473 usuarios y el nivel de continuidad del 99,06%. La PTAP Algodonal cubre las $\frac{3}{4}$ partes del servicio.

El tratamiento del Agua en la PTAP se hace a través del siguiente proceso: captación, aducción, potabilización, conducción y distribución. Para lograr la potabilización la Planta cuenta con diferentes estaciones: captación, desarenador, bombeo, zona de mezcla, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y distribución (Ver Figura 8).

Figura 8. Dibujo a mano alzada de la PTAP Algodonal.



El agua captada ingresa a la PTAP a través de un canal con cribado que evita el paso de objetos grandes (troncos, restos vegetales, animales). Sólo se capta el agua necesaria operando una válvula y el excedente retorna al Río por un canal

de desvío. Hay otras dos válvulas que permiten al operador liberar el exceso de arena o material que se retiene en el cribado y en el canal durante la limpieza.

El agua cruda pasa a dos tanques desarenadores (32 m largo x 4 m de ancho x 1 m profundidad) con paredes deflectoras cuya misión es disminuir la velocidad del agua, ya que impiden el flujo rotacional pero favorecen el flujo vertical de la misma. Esto además permite aumentar el tiempo de retención del agua a fin de que las partículas de arena sedimenten. El tiempo de retención es de 22 minutos.

El mantenimiento de estos tanques es semanal en verano y puede llegar a ser diario en invierno. El proceso aplicado es simple: se libera el agua de éstos con un sistema de válvulas que conducen el agua hacia el río, aguas abajo de la bocatoma y posteriormente, lavado a chorro. El proceso dura aproximadamente 1 hora en verano, y de 3 a 4 en invierno. Los lodos que se producen en esta parte (lodos naturales), contienen material orgánico proveniente del Río. Ver figura 9.

Figura 9. Desarenadores de la PTAP: funcionamiento y limpieza.

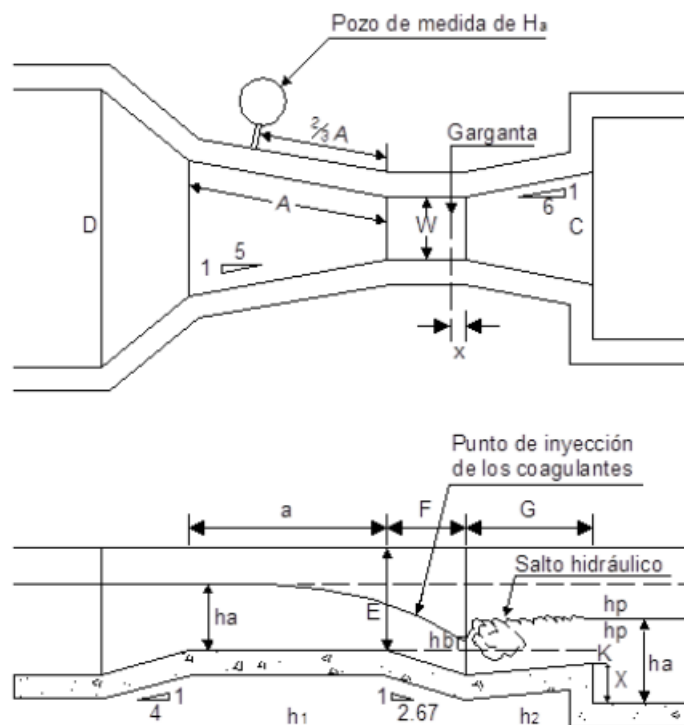


La siguiente etapa es la zona de bombeo. De manera preliminar el agua se deposita en una canastilla que contiene un filtro para terminar de separar los objetos o partículas grandes. El agua asciende en 5 tubos de 8" y es bombeada 60 metros hacia la Planta de Tratamiento por un tubo de 18", todo ello por la acción de 5 motobombas de 20 y 30 HP que funcionan con 440 V.

En esta primera parte, la planta tiene un control biológico de la calidad del agua, usando alevines de especies del Río.

Ya en la Planta, el agua se mezcla con el coagulante en la Canaleta de Parshall (Ver figura). El coagulante usado en la empresa es el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ tipo B Especial, cuya composición es 16.0% mín. de Al_2O_3 , 1.6% máx. de Fe_2O_3 y 5% máx. de insolubles.

Figura 10. Diagrama de una Canaleta Parshall.



Fuente: Arboleda, J. Teoría y Práctica de la purificación del agua. 2000. p. 110

El sulfato de aluminio se dosifica atendiendo a los resultados de la prueba de jarras que se practica de 2 a 3 veces al día sobre el agua cruda recolectada en la rejilla de entrada de la canaleta y con el caudal de ingreso en la planta. El ingreso del caudal a la planta es medido con un aforo. A partir de este aforo, los

operadores tienen graduada una escala de registro del caudal donde relacionan este valor con la dosificación aproximada del sulfato.

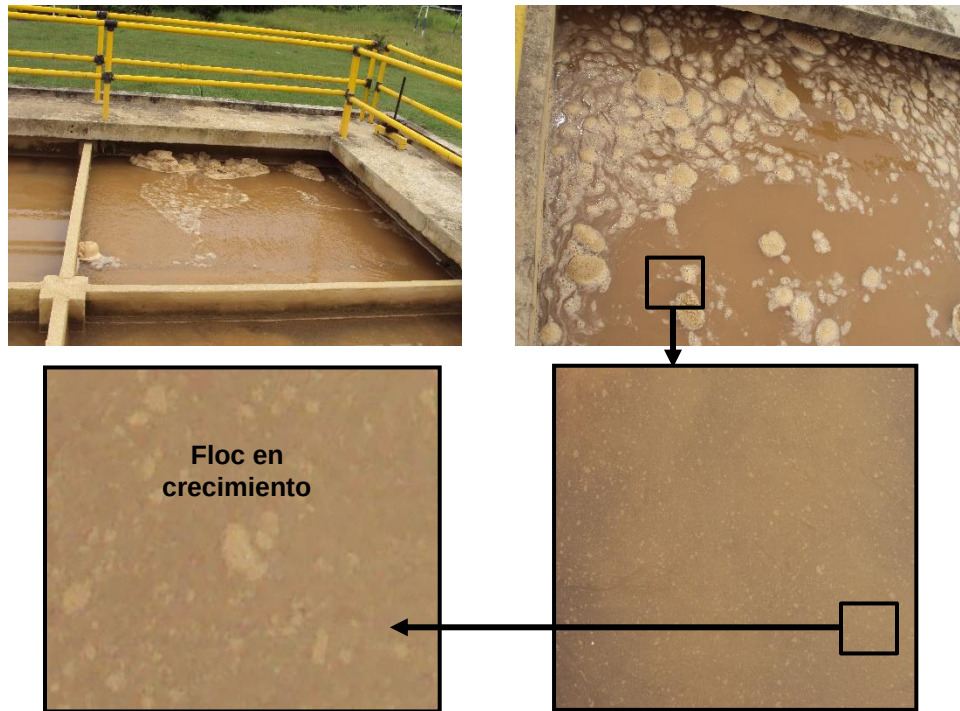
El diseño de la canaleta asegura que ocurra una mezcla rápida entre el agua cruda y el coagulante. Al comienzo de ella el agua pasa por la profundidad crítica y debido al cambio de pendiente se acelera hasta crear un régimen supercrítico que se convierte en un salto hidráulico al encontrar una pendiente negativa en la sección denominada garganta (G) (8).

Esta mezcla de agua cruda con el sulfato se conduce hacia los floculadores a través de una canal recta de 46 m. Al llegar a los floculadores se aprecia ya la formación del Floc (Ver Figura 11), como resultado de la unión entre las partículas coloides en suspensión y el coagulante.

La PTAP cuenta con floculadores hidráulicos de flujo vertical. Los floculadores (4.95 m ancho x 9.70 m largo x 3.30 m profundidad) son 4 tanques divididos en 8 cámaras cada una separadas por tabiques de concreto. El flujo entre las cámaras se mantiene por canales laterales metálicos que tienen orificios rectangulares (Floculador tipo Cox); el agua atraviesa las 8 cámaras alternando su entrada y salida: ingresa a través del extremo superior de la cámara y sale de ésta, por el extremo inferior, luego ingresa por el extremo inferior y sale por el extremo superior a la siguiente cámara. El tiempo de retención del agua es de 26 minutos.

El agua abandona los floculadores a través de una pared deflectora y continúa su trayecto hacia los Sedimentadores. Éstos se ubican entre los floculadores y la batería de filtros.

Figura 11. Formación de Floc en los Floculadores de la PTAP.



La Planta tiene 4 Sedimentadores (37 m largo x 6.1 m ancho x 3.3 m de profundidad) independientes con velocidad horizontal constante donde el floc en suspensión se separa del fluido en trayectoria parabólica; como la velocidad es igual en cualquier punto del tanque, el modelo de flujo es de tipo pistón. El tiempo de retención del agua es de 210 minutos.

En el sedimentador, los sólidos descienden al fondo del tanque y se aglutinan entre sí, cambiando de tamaño y formando los lodos residuales de la potabilización. Este proceso depende de la temperatura: cuando es baja, el floc se sedimenta instantáneamente quedando retenidos en el fondo el tanque; pero en días donde la temperatura es alta, se observa que el floc se extiende en los sedimentadores y tras un periodo de reposo, se sedimenta. En este último caso, el agua que pasa a los filtros lleva más color y por ello, se acumulan partículas de sólidos requiriendo que el tiempo de lavado se acorte.

Floculadores y Sedimentadores se lavan cada mes, durante la primera semana. Los tanques son turnados para la limpieza y siguen este proceso: desagüe, lavado a presión y desinfección. Para desaguar el tanque, se abre mecánicamente la válvulas (ver figura 12) desde la superficie por el operador. En los cuatro sedimentadores las válvulas están ubicadas la mitad de los mismos. Una vez desaguado se procede al lavado a presión del tanque usando una manguera de 2" y agua cruda. Finalmente se aplica hipoclorito de sodio (NaClO) para desinfectar.

Figura 12. Técnica de Lavado en los tanques usado por los operadores de la PTAP



Los lodos aluminosos generados en los sedimentadores y Floculadores son vertidos directamente al río, aguas abajo de la bocatoma sin que medie tratamiento previo e imposibilitando recolección debido al diseño de la planta; liberando lodo y agua al tiempo del tanque.

El agua cruda, ahora sin color, pasa a los filtros. Hay 2 filtros en la PTAP (6.71 m largo x 6.10 m ancho x 3.35 m profundidad) formados por una capa de grava (de

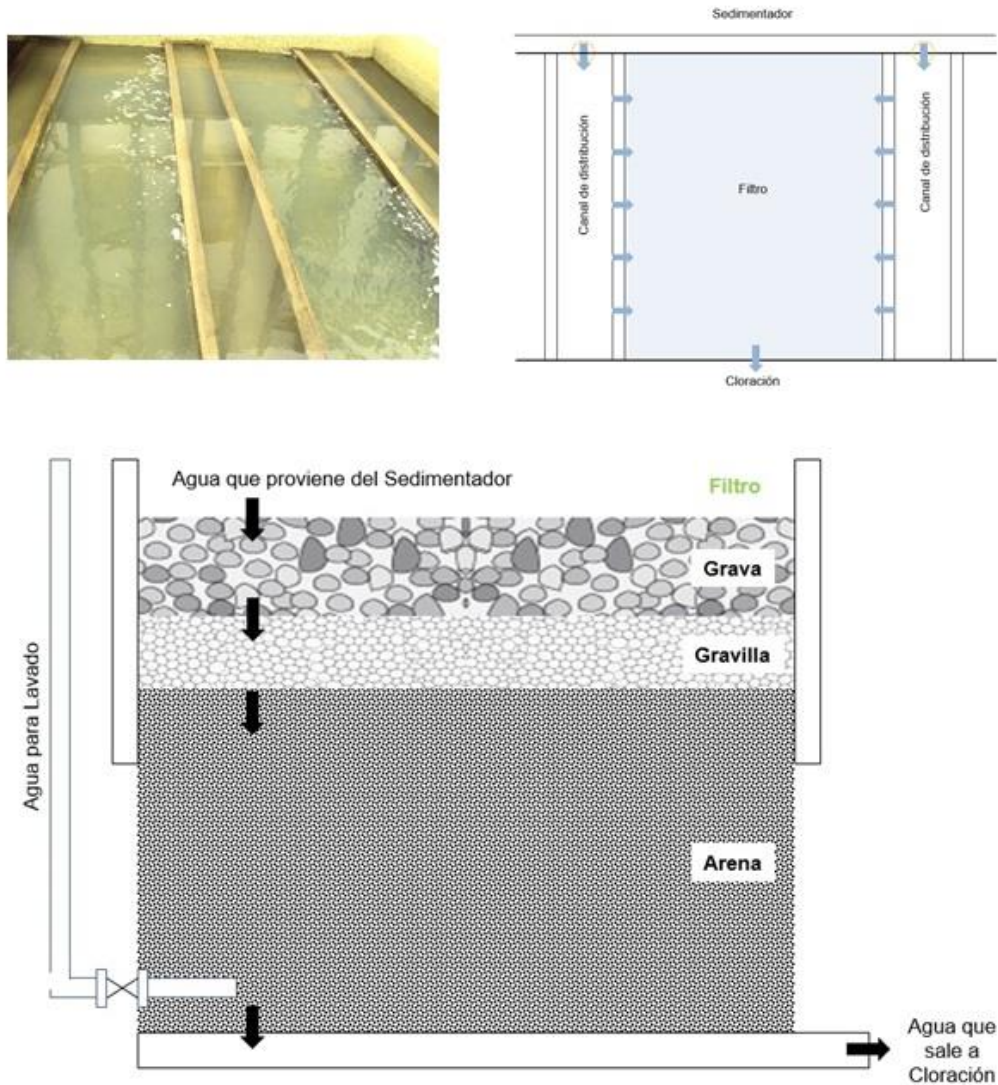
50 cm de espesor), una de gravilla (30 cm) y otra de arena (70 cm). Ver figura 13. El filtro separará los restos de sólidos en suspensión que pasaron el sedimentador y con ello, asegurará que el agua cruda no tenga color y menos cantidad de material microbiológico.

Si el agua del filtro tiene color, es una señal de que debe ser lavado. Para evitar este problema, la PTAP lava los filtros cada 4 días usando un flujo de agua ascendente de tal forma, que pueda liberar el floc atrapado en el material más pequeño del filtro (arena) hasta el más grande (grava). Los operadores accionan mecánicamente una válvula para dar ingreso al agua que es tratada y que proviene de un tanque de almacenamiento, con un caudal del 1 al 5% del agua filtrada. El proceso dura alrededor de 20 a 25 minutos aproximadamente.

En esta maniobra ellos cierran las válvulas del flujo de agua que procede de los sedimentadores y las del agua que sale de los filtros hacia los tanques de desinfección. Esto significa que el agua del lavado y sus desechos salen del filtro por otra tubería de drenaje y se dirige hacia el río, aguas abajo de la bocatoma. Estos lodos también son aluminosos, pero tienen diferente concentración en relación a los de los sedimentadores.

Por último, el agua se desinfecta usando cloro gaseoso. El cloro viene empacado en cilindros de 1 tonelada para 35 días de uso. Hay 4 tanques en el primer nivel de la planta que recolectan el agua proveniente de los filtros y que la almacenan en un tanque subterráneo de 358 m³ de capacidad. En este tanque se inyecta el Cl₂ por 30 minutos para eliminar por oxidación virus, bacterias y microorganismos eucariotas antes de ingresar el agua a la red de distribución. En esta etapa se controla el cloro residual y el pH.

Figura 13. Filtro de la PTAP.



El agua tratada sale de la planta hacia 3 tanques de almacenamiento (tanque Buenavista, tanque El Llanito y tanque Cristo Rey) y recorre este trayecto en tuberías que inician en 12" y terminan en 18". Esta agua potable es impulsada con 3 motobombas (145 L/min, 440 V) y su flujo es regulado con un dispositivo eléctrico. Ya en los tanques de almacenamiento, el agua potable es distribuida a la ciudad.

El agua potable es certificada por la Secretaría de Salud como apta para consumo humano. Adicionalmente, el Químico (empleado de la planta) a cargo realiza pruebas periódicas para verificar la calidad del agua potable conforme a la norma (Res. 2115/2007).

4.1.2. Lodos Generados en la Potabilización y Tratamiento dado. Se producen dos tipos de lodos: naturales y aluminosos. Los primeros son aquellos generados en la estación de los desarenadores y los segundos, como resultado de la mezcla entre las partículas en suspensión del agua cruda y el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ tipo BE.

Estos lodos aluminosos se generan principalmente en los floculadores, luego sedimentan en el fondo de los tanques sedimentadores y posteriormente durante el lavado son descartados directamente al río aguas abajo de la bocatoma sin recibir tratamiento.

El lavado de los tanques es manual usándose agua cruda y manguera de 2 pulgadas. El procedimiento es el mismo en todos los tanques: se evacua el agua de la unidad, se remueven los bancos de lodos (concentraciones de 4 a 13%) depositados en el fondo del tanque con agua a presión para desprender y movilizar el lodo en el tanque hasta el desagüe y finalmente, se desinfecta con NaClO .

El diseño del desagüe de los tanques incide en la variación de la concentración de los lodos durante el proceso de lavado y arrastre de fondo; esto se debe a que las válvulas ubicadas en el fondo de los tanques (Floculador y Sedimentador) imposibilita separar el agua del lodo y la tubería de 14" no está conectada a lechos de secado llevando directamente la mezcla hacia el río. La frecuencia de lavado depende del tanque: en los desarenadores es semanal en verano y diaria en invierno, en floculadores y sedimentadores es mensual.

La técnica de lavado usada en la PTAP trae como consecuencias:

- El cuerpo de agua recibe toda la descarga de desechos sin previo tratamiento.
- El volumen de los lodos se incrementa por el tratamiento dado en la limpieza.
- Mensualmente el río soporta la descarga de lodos aluminosos.

4.1.3. Cantidad de Lodo Generado. El diseño hidráulico de la PTAP impide realizar aforos reales del lodo generado en la planta, razón por la cual se procedió a determinar mediante cálculo teórico la cantidad de lodo producido en la planta. Para tal efecto se toma como base la información recolectada a partir del formato PAP F08 “Registro General de Purificación” adoptado por la PTAP para llevar control de los datos del proceso de potabilización. Se revisaron los archivos de 8 meses desde Noviembre de 2013 (muestreo de invierno) a Junio de 2014 (en Abril se realizó el muestreo de verano).

Se aplicó la ecuación reportada en literatura haciendo un ajuste para obtener un resultado en kg de lodo por hora y un promedio en kg de lodo por día.

Ecuaciones:

$$S = 3,6 * Q ((0,44 * Al) + SS + A) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$S = 86,4 * Q ((0,44 * Al) + SS + A) \quad \text{Ecuación 2}$$

Se obtuvieron los promedios y las desviaciones estándar por mes para cada uno de los parámetros del conjunto de datos de los 8 meses.

En la Figura 14 aparece la producción diaria de lodo.

Luego, se obtuvo un valor más probable para cada parámetro mediante estimación puntual.

Finalmente, estos valores se usaron en la ecuación 2 para obtener la producción mensual promedio de Lodo. Ver figura 15.

Figura 14. Producción en promedio mensual de Lodo en la PTAP.

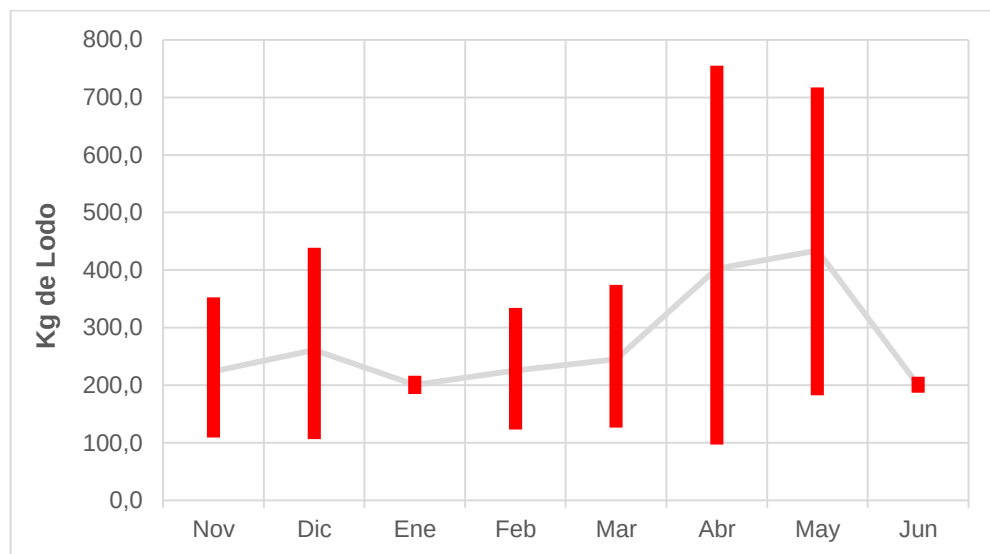
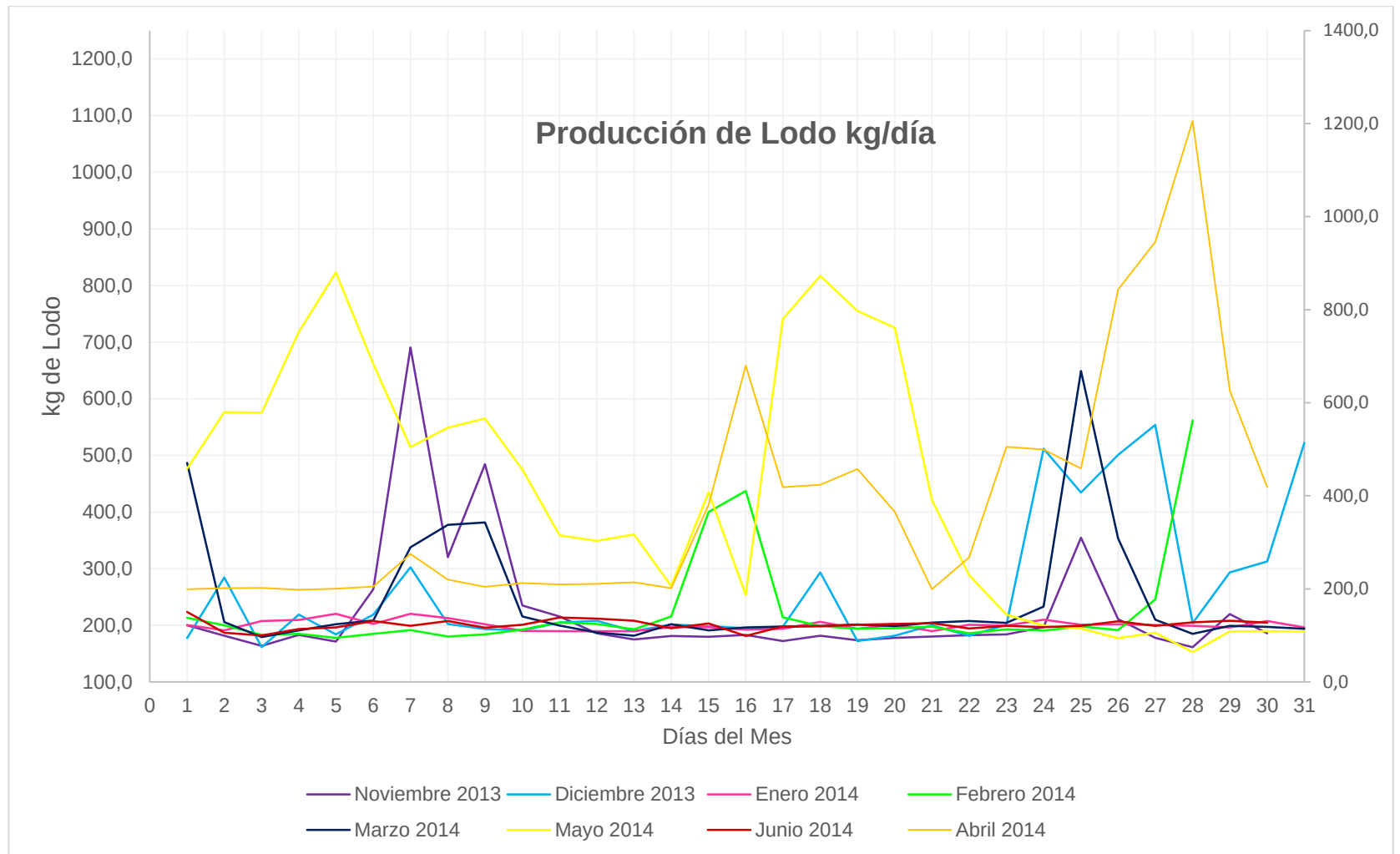


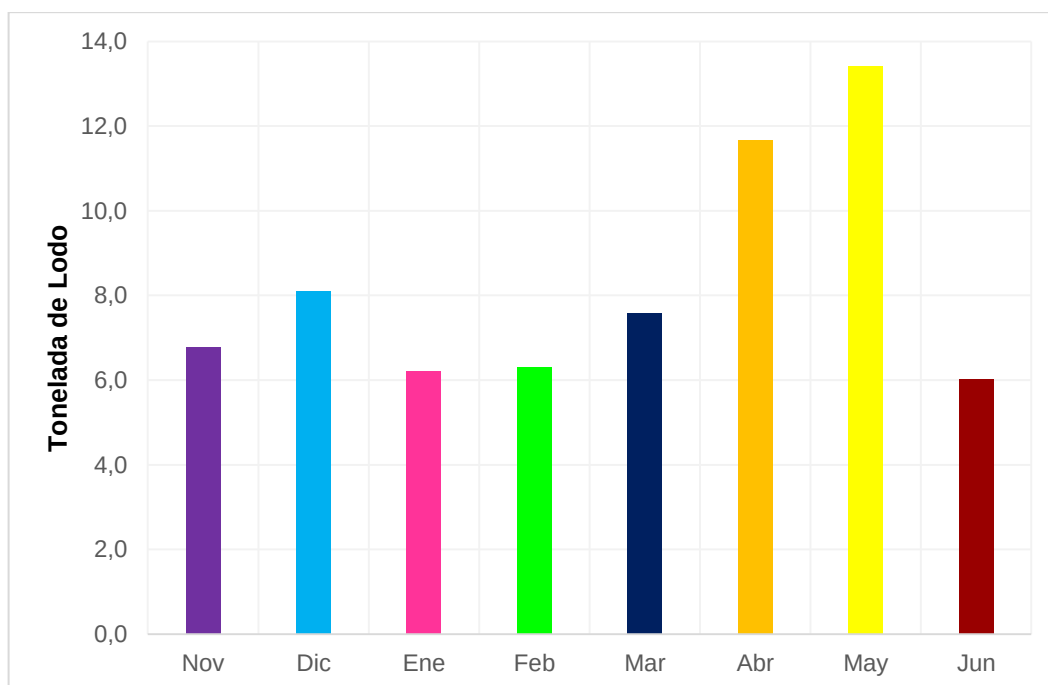
Figura 15. Producción diaria de Lodo en la PTAP durante el periodo Noviembre 2013 a Junio 2014



Fuente: El Autor.

Los registros mensuales de la gráfica anterior se sumaron de forma independiente y se promediaron para presentar la producción mensual de los lodos en Toneladas de lodo. Ver figura 16.

Figura 16. Producción total de lodo en la PTAP durante los meses de Noviembre 2013 a Junio 2014



Puede observarse que no existe una tendencia clara en la producción de lodo dada la dispersión que presenta el conjunto de datos. Esto puede ser explicado por la imprevisibilidad de la calidad del agua cruda y de los regímenes de lluvias: si el agua que ingresa a la planta presenta una alta turbidez, la dosis óptima de coagulante tendrá que ser mayor para remover el material en suspensión. Ahora, si el pH del agua no es óptimo, se requerirá el uso de cal para ajustarlo a un valor próximo a 11 al cual el sulfato actúa eficientemente.

En los meses de abril y mayo, el caudal mantuvo un valor promedio de 232 y 224 L/s, valor que guarda relación con el de los otros meses; sin embargo, la dosis óptima (36.8 mg/L y 40.4 mg/L respectivamente) y los aditivos (3.9 mg/L y 4.6 mg/L respectivamente) se incrementaron considerablemente con relación a los otros meses. Esto trajo como consecuencia, valores más altos en la producción de lodos: en abril entre 97.1 kg lodo/mes y 755.1 kg lodo/mes, y en mayo entre 182.8 kg lodo/mes y 717.1 kg lodo/mes.

Mayo fue el mes que tuvo la mayor producción, con 13.4 Ton lodo/mes y abril el que presentó mayor dispersión de los datos.

La producción de lodos mensual en la planta de tratamiento, estimada de forma teórica, fue de 8.3 ± 2.8 Ton lodo/mes.

4.1.4. Características Fisicoquímicas de los Lodos Aluminosos. Se analizaron 18 parámetros en 4 MLA seco; dos muestras compuestas de los Sedimentadores (S1, S2) y dos muestras integrales, una de sedimentadores (S) y una Floculadores (F). Los resultados se reportan en el Tabla 6.

La composición química de las muestras de invierno en los sedimentadores (S1 y S2) evidenció la uniformidad de los parámetros analizados. Por esta razón, se decidió en el muestreo de verano realizar una muestra integral de los cuatro sedimentadores (S) y una integral en los Floculadores (F) para determinar la composición química en estos y comparar resultados.

Las muestras tienen composición muy uniforme evidenciando un mismo origen de la materia prima: los sólidos suspendidos del agua captada (río Algodonal) y el coagulante y aditamentos usados en la potabilización.

Tabla 6. Resultados de Análisis Fisicoquímicos a las MLA.

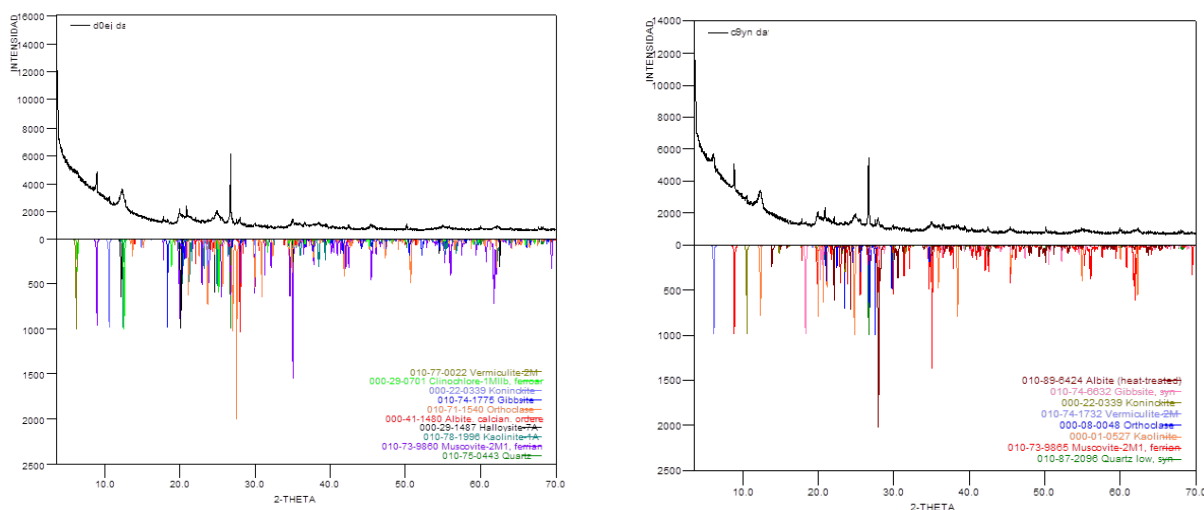
Parámetro	INVIERNO		VERANO	
	S1	S2	S	F
pH (Unidades de pH)	4,95	5,14	5,39	4,94
Cenizas (%)	84,83	85,80	82,81	82,59
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	15,57	14,20	17,19	17,41
Carbono Orgánico Total (%C)	0,997	1,044	1,500	1,448
Aluminio Total (%Al)	4,01	4,34	5,01	4,25
Hierro (%Fe)	4,23	4,43	4,23	3,91
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	0,05	0,05	0,05	0,05
Sodio (mg Na/kg)	745,12	1202	707,65	762,64
Potasio (%K)	0,24	0,26	0,19	0,18
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	362,71	499,58	306,23	264,41
Arsénico (mg As/kg)	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33
Cromo (mg Cr/kg)	<24,07	<24,07	<24,07	<24,07
Plomo (mg Pb/kg)	19,34	<6,58	21,43	<6,58
Magnesio (%Mg)	0,48	0,60	0,303	0,423
Cadmio (mg Cd/kg)	<3,73	<3,73	<3,73	<3,73
Níquel (mg Ni/kg)	<19,38	<19,38	<19,38	<19,38
Cobre (mg Cu/kg)	27,57	25,48	24,19	32,12
Cinc (mg Zn/kg)	10,77	8,44	7,12	12,28

El pH del lodo (5.10 ± 0.21) muestra la tendencia a ser ácido; el % de carbono es menor de 3 evidenciando que no hay material biológico en la muestra. Las concentraciones de metales en los lodos son relativamente bajas. Metales tóxicos como el As, Cr, Cd, Ni en el lodo aluminoso seco están por debajo del límite detectable en el ensayo, y el Zn, Cu, Pb están por debajo de 35 mg/kg. Lo anterior evidencia que el lodo no es tóxico y no representa riesgo en cuanto a su manipulación y posterior reuso. Si bien son vertidos directamente al agua, las concentraciones bajas representarían una contaminación significativa.

Los porcentajes de Mg y K son menores a 1, en contraste con los porcentajes de Fe y Al que son mayores a 3. Estos últimos guardan relación con la composición del coagulante empleado por la PTAP y pueden conferir a la probeta (ejemplar macizo) cambios cromáticos después de la cocción. Y por otra parte, los insumos usados para la potabilización no generan desechos tóxicos, conforme con la Resolución 2115 de 2007.

El principal componente de los lodos muestreados es la sílice (358,23 mg SiO₂/kg), el cual se hace evidente en los resultados reportados por DRX (Figuras 17 y 18).

Figura 17. Difractogramas de la MLA Invierno (a) y Verano (b).



Mineral	Figure of Merit	Total Peaks	C
Vermiculite	4%	199	0,871938
Clinocllore	---	---	---
Koninckite	12%	37	---
Gibbsite	9%	131	0,007495
Orthoclase	12%	144	0,001702
Albite	16%	63	0,004114
Holloysite	22%	7	---
Kaolinite	23%	132	0,008455
Muscovite	23%	167	0,003254
Quartz	70%	18	0,103042

Mineral	Figure of Merit	Total Peaks	C
Albite	22%	198	0,0153459
Gibbsite	6%	138	0,0330888
Koninckite	16%	37	---
Vermiculite	11%	199	0,504581
Orthoclase	25%	9	---
Kaolinite	30%	16	---
Muscovite	23%	169	0,0186198
Quartz	68%	18	0,428364

Se identificaron principalmente tres minerales: sílice, minerales arcillosos y feldespatos.

El sílice SiO_2 aparece principalmente como cuarzo (68%-70%) en las muestras, ya que es el mineral más abundante en la naturaleza, de cristalización perfecta y de gran pureza. Dentro de la matriz arcillosa, el cuarzo se comporta como material de relleno y pueden contribuir a disminuir la contracción de la pasta cerámica durante el proceso de secado (9).

Los minerales arcillosos identificados fueron: la caolinita, vermiculita, moscovita y haloisita.

La caolinita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ es el constituyente fundamental de la mayor parte de las arcillas empleadas en la fabricación de cerámica fina y refractaria; su color tiende a ser piel a naranja. Esta arcilla es un Filosilicato bilaminar dioctaédricos; se clasifica como expandible y presenta estructuras que permiten que el agua penetre entre las láminas tetraédricas y octaédricas a través de enlaces de hidrógeno, lo cual determina una expansión de la celda cristalográfica y explica su alto índice de plasticidad (10).

La haolisita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ es un mineral de interés industrial perteneciente a las Caolinitas. Generalmente tiene una plasticidad mayor que la caolinita, pero su contracción de secado es menor; esta cualidad confiere mayor resistencia mecánica en pastas crudas, permitiendo una mejor manipulación de las piezas cerámicas (11). La haloisita se emplea en la fabricación de refractarios; como aglomerante cerámico en pastas especiales y en cerámica blanca ya que este mineral tiende a presentar color blanco o amarillo claro (12). La presencia de haloisita en el lodo, puede explicar su tonalidad clara.

En el proceso cerámico la presencia de minerales de este tipo aumenta la plasticidad de la pasta, pero es inconveniente porque en el secado los objetos moldeados pierden volumen y se deforman.

La Vermiculita $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (4 a 11%) y La Moscovita $\text{K}_{0.92}\text{Na}_{0.08}\text{Al}_{1.78}\text{Fe}_{0.22}\text{Mg}_{0.1}(\text{Al}_{0.83}\text{Si}_{3.17}\text{O}_{10})(\text{OH})_{1.56}\text{O}_{0.25}\text{F}_{0.19}$ (23%) son minerales de esta familia con índice de plasticidad menor pero tiende a incrementarse cuando disminuye el tamaño del grano; por ello se conocen como minerales no expandibles con estructura cristalina de tipo filosilicato trilaminar dioctaédrica.

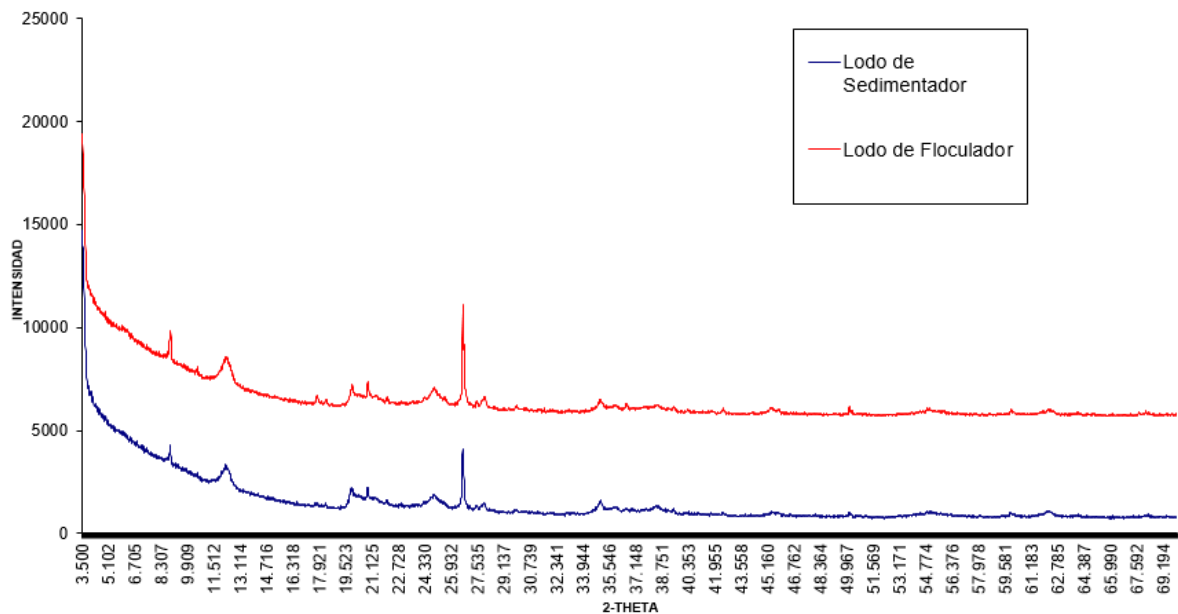
Los feldespatos identificados fueron ortoclasas y albita.

Las ortoclasas $\text{K}(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_8$ (12%-25%) son minerales que cristalizan en el sistema monoclinico tanto que la Albita $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (16%-22%) es un mineral que cristaliza en el sistema triclinico. Estos minerales presentan alguna plasticidad pero muy baja, por eso se pueden considerar antiplástico o desgrasantes, además como funden o sinterizan a las temperaturas comunes en el proceso cerámico se usan principalmente como fundentes.

Los minerales identificados son los esperados ya que el material litológico predominante en la cuenca del Río Algodonal son las arcillositas, limonitas y areniscas ocupando el 19.03% del territorio de la cuenca, seguido de Granito, cuarzomonzonita y Neises al cual le corresponde el 18.73% (13).

Los resultados de difracción se superpusieron para comparar sus componentes (Figura 18). El resultado del análisis precisa la presencia de aluminosilicatos (cuarzo) y arcillas evidenciando que las dos muestras tienen una composición similar. Por esta razón, se decide mezclar todo el material recolectado para la elaboración de las probetas.

Figura 18. Superposición de los perfiles de Difracción.



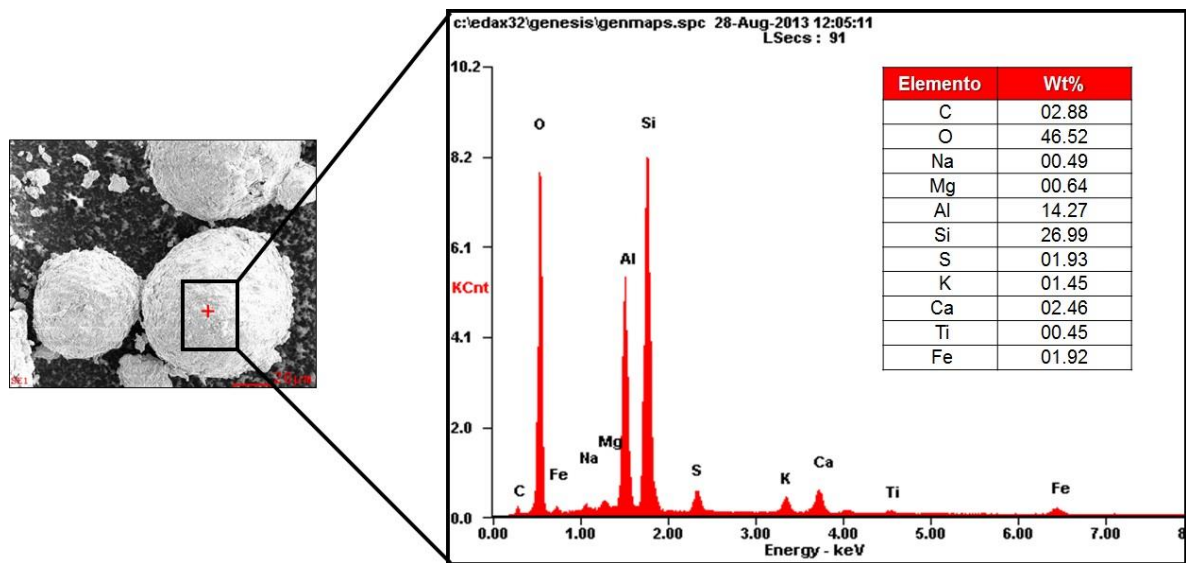
Por tanto, se esperaría por la composición mineralógica, que el lodo se comporte como una arcilla con alta plasticidad y capacidad de absorción de agua por la presencia de minerales arcillosos, pero que puede tener alta porosidad debido a la presencia de feldespatos y minerales no expandibles que al ser sometidos a cocción generen fisuras o grietas en los ladrillos.

4.2. REUSO DEL LODO ALUMINOSO EN LA FABRICACIÓN DE UN PRODUCTO CERÁMICO

4.2.1. Características de la Arcilla Atomizada. Las muestras de arcilla atomizada suministrada por Cerámicas Italia S.A., son de baja compresibilidad, color rojizo, inorgánica, con una plasticidad media – baja. La muestra se analizó (USECHE ARCINIEGAS, 2010) por la técnica SEM-EDS (Equipo QUANTA FEG 650, mode SE, HV 3.50 kV, escala 200 μm) y las imágenes reportadas a 250x

(Figura 19) fueron analizadas con el software ImageTool. El diámetro de éstas es en promedio de $165.03 \pm 47.12 \mu\text{m}$.

Figura 19. Análisis elemental EDS de la Arcilla Atomizada.



Fuente: Cortesía de Ph.D. Gabriel Peña, Universidad Francisco de Paula Santander.

Por la Técnica SEM-EDS se determinó la presencia de aluminio, silicio y oxígeno, elementos importantes en los minerales arcillosos. De esta forma, se constata que la arcilla atomizada es óptima para adelantar procesos cerámicos.

4.2.2. Caracterización de los Ejemplares Cerámicos Elaborados. En el laboratorio se elaboró un primer lote de probetas piloto humectadas al 10% y prensadas a 750 psi. Las probetas verdes (después del prensado) codificadas como 91, 82, 73 y 64 mostraron fisuras y baja aglomeración del material. Estas probetas después del secado tienen disgregación en superficie y bordes pero la No. 0, después del secado se quebró (Figura 20). Estas probetas no se sinterizan,

pero sus resultados visuales permiten ajustar las condiciones para elaborar el segundo lote a fin de mejorar la aglutinación y compactación de la materia prima.

Figura 20. Probetas Elaboradas en el Laboratorio.



Probetas a) Probeta 0 del primer Lote, b) Probetas Verdes No. 0, 91, 82, 73, 64 y 100 del Segundo Lote, c) Probetas No. 0, 91, 82, 73, 64 y 100 del Segundo Lote Sinterizadas Probetas d) Probetas No. 0 a 1000 y 1250 Psi. Fuente: El Autor.

Para el segundo lote se incrementan las variables al 20% de humedad y 1000 psi de presión. Así mismo, en el prensado se hacen escalas de 250 Psi controlando

la presión y el tiempo del prensado. Este segundo lote de probetas mostraron un mejor resultado sin fisuras ni pérdidas de material en bordes; el color oscuro y la textura lisa revelaban la adecuada compactación. Este lote de probetas se seca y luego, se lleva a cocción para sinterizar.

El resultado de este lote de probetas es el esperado: ejemplares macizos con color rojizo que al golpearse suavemente registran un sonido metálico, sin grietas, nódulos o deformaciones. El sonido metálico da una señal especial de vitrificación en los ejemplares, entendida como la formación gradual de un vidrio líquido que fluye hacia los poros y en parte llena su volumen (7). Esta particularidad genera así la expectativa de la calidad en términos de resistencia mecánica de los ejemplares.

No obstante, la probeta 0 tiene una fisura que fue considerada como una zona de concentración de esfuerzo que para el ensayo mecánico disminuiría su resistencia mecánica. Por esta razón, se prepararon nuevas probetas 0 a 20% de humedad y 1250 Psi, cuyos resultados son los esperados respecto a las probetas No. 91, 82, 73, 64 y 100.

El color en las probetas verdes No. 0 es muy diferente a las otras donde hay porcentaje de arcilla atomizada. En la primera tiende a ser amarillo ocre claro y en las segundas, se observa un color rosado a rojo. Una vez sinterizados, los colores son diferentes, apreciándose tonalidades naranjas-rojizas, que bien pueden corresponder por la incorporación del hierro a la estructura de los silicatos cálcicos formados durante la cocción (LEGUEY, 2001).

Al segundo lote se le aplican los ensayos elegidos (Ver Tabla 5) para caracterizar el material cerámico a nivel físico (% Contracción, Densidad y Capacidad de Absorción) y mecánico (Resistencia Mecánica) en las probetas verdes (después de prensar), secas (después de secar) y cocidas (después de sinterizar o cocidas).

Los resultados se presentan como el promedio de los ensayos aplicados por triplicado.

A partir de los registros de las dimensiones, se calcularon los porcentajes de contracción en verde y cocción para cada una de las probetas en cuanto a su diámetro y altura. En la tabla 7 se presentan estos resultados.

Tabla 7. Porcentajes de contracción en Verde y Cocción.

Código Probeta	DIÁMETRO (mm)			ALTURA (mm)			%Cs		%Cc	
	□ ₀	□ ₁	□ ₂	□ ₀	□ ₁	□ ₂	D	h	D	h
0	44.58	44.45	43.01	56.45	56.09	49.50	0.29	0.63	3.25	11.75
64	44.54	42.99	42.50	42.12	41.15	40.66	3.48	2.29	1.14	1.20
73	44.58	43.73	43.52	38.50	38.05	37.85	1.90	1.17	0.49	0.53
82	44.50	43.26	43.12	37.63	37.11	36.98	2.78	1.38	0.34	0.34
91	44.42	42.95	42.87	37.06	36.38	36.32	3.31	1.83	0.17	0.16
100	44.49	42.84	42.76	34.65	33.60	33.51	3.71	3.05	0.17	0.25

La P0 (Probeta No. 0) que contiene polvo seco del lodo aluminoso absorbe mayor cantidad de agua durante la preparación de la mezcla para el prensado y es menos compresible; esto es evidente en la mayor altura respecto a las otras probetas. Esta condición hace que la P0 tenga el mayor volumen en el lote de probetas y por tanto la menor densidad calculada. Así mismo se apreció que en la medida en que aumentaba el porcentaje de lodo en la mezcla, la altura se incrementaba en la probeta y esta condición se mantuvo en cada una de las etapas (conformado, secado y cocción).

El lodo aluminoso aunque cuenta con mayor absorción de agua, tiende a ser menos compresible y el ejemplar macizo termina con un volumen mayor respecto a las otras probetas. Esto puede ser explicado porque las partículas del lodo de la

probeta No. 0 no se han unido tanto como en las mezclas (91, 82, 73 y 64) acumulando agua entre sus uniones y ésta durante la cocción se evapora generando cavidades que fueron vistas en superficie como fisuras.

Este comportamiento hace que la probeta P0 compita con menos resistencia mecánica respecto a las otras.

La contracción en crudo permite visualizar el cambio dimensional de las probetas, especialmente de las P0, ya que estos valores están entre 0.29% y 3.71% en diámetro y 0.63% y 3.05% en altura. Estos cambios permiten entender que el secado propuesto en la elaboración de las probetas fue adecuado para eliminar la humedad aplicada en el conformado de las mismas.

La velocidad de secado se manejó para evitar la aparición de grietas y fisuras debidas a las grandes contracciones que sufre el material cuando pierde agua rápidamente (14).

La contracción en las probetas sinterizadas No. 100, 91, 82 y 73 es menor a 1, respaldando la idea de que el porcentaje de lodo agregado en las mezclas 91, 82 y 73 no afecta las dimensiones del producto final. La probeta usada como control (P100) muestra un resultado favorable de contracción (de 0.17% y 0.16%) mostrando que el proceso aplicado en el conformado, secado y cocción de las probetas fue adecuado.

La muestra en el horno, sufrió una verdadera transformación físico-química y toda la pasta estuvo sujeta a imperceptibles movimientos de dilatación y contracción por el cambio de volumen producto de las reacciones (7). Ya que estas reacciones generan nuevas fases cristalinas (9) el producto contendrá una nueva estructura constituida por un sólido policristalino con una matriz amorfa y vítrea (15).

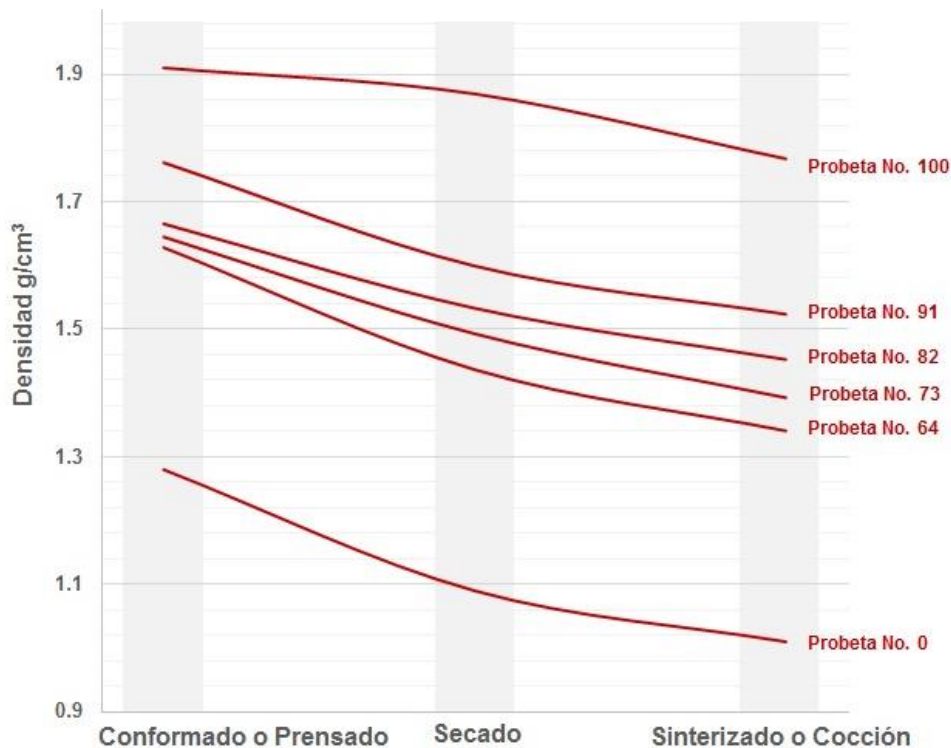
Por esta razón se esperaba encontrar en las probetas sinterizadas: Metacaolinita (producto de la caolinita a los 500°C), mullita (producto de la espinella a los 950°C), cristobalita (producto de la sílice a los 950°C) y β -Cuarzo (producto del cuarzo después de los 450°C).

Por otra parte, las probetas sinterizadas No. 64 y 0 tuvieron una contracción mayor a 1 y en el caso de la P0, se apreció un cambio notorio del 11.75% de contracción en altura. Estas variaciones en el volumen de la mezcla P64 y P0 pueden ser explicadas por las reacciones químicas que se generan entre sus componentes durante la cocción, y a expansiones o contracciones forjadas en arreglos estructurales, tales como el del cambio del cuarzo de la fase alfa a la beta tras los 450°C.

Una alta contracción total indica que el cuerpo resultante es denso y fuerte, pero puede romperse por agrietamiento (7). Esto permite inferir que no es viable usar el lodo al 100% (Probeta No. 0) ya que pueden generar cambios dimensionales considerables en el producto final.

Tanto las masas registradas como el volumen calculado para las probetas son bien diferentes, y son interpretados en términos de su densidad (Ver Tabla 8). Las densidades en cada una de las etapas de la elaboración se comparan en la Figura 21.

Figura 21. Densidades de las probetas por Etapa de Elaboración.

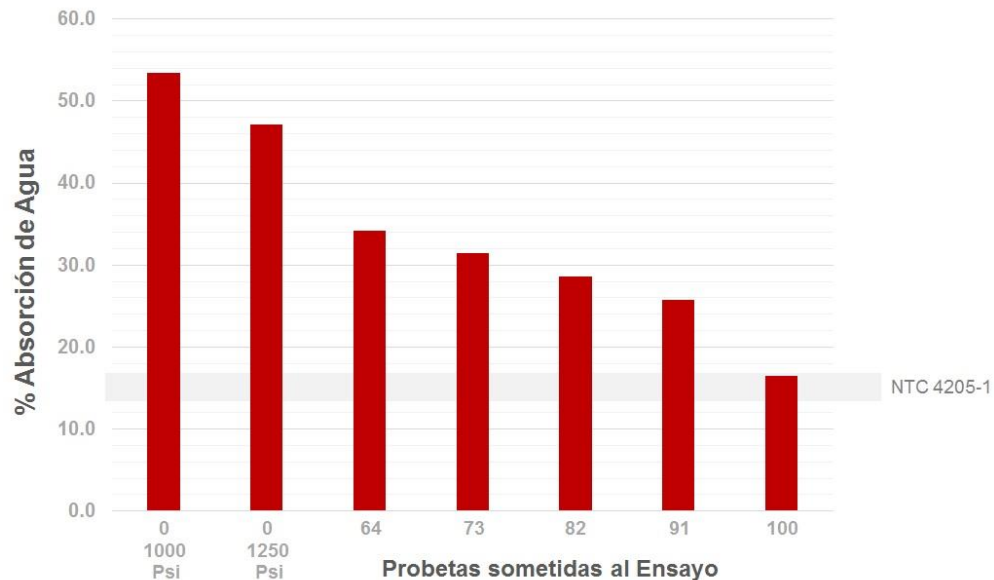


La densidad en las probetas es proporcional a la cantidad en %wt de lodo aluminoso agregado. Tal como se observa en la figura 21, la densidad más alta se reporta para la probeta elaborada al 100% con arcilla atomizada (Probeta No. 100) en tanto que la densidad más baja la presenta la probeta al 100% con lodo aluminoso (Probeta No. 0).

La densidad en el producto final disminuye como consecuencia de la contracción dimensional y esto se explica porque la densidad se ve afectada en la sinterización por la pérdida de agua, el cambio de fase de α -cuarzo a β -cuarzo, oxidaciones y la descomposición con desprendimiento de gases y vitrificación. Así mismo, cuanto mayor es el %wt del lodo aluminoso en la probeta, la porosidad es mayor traducida como un mayor volumen en la probeta que disminuye su densidad.

Para confirmar la porosidad de estas muestras el tercer ensayo de capacidad de absorción se aplicó en las probetas. Los resultados se relacionan en la figura 22.

Figura 22. Capacidad de Absorción de las Probetas.



Las probetas No. 0 del Lote 2 a 1000 Psi y 1250 Psi se sometieron a esta prueba. Se determinaron en promedio un 53.4% y 47.2% de absorción de agua respectivamente, demostrando que hay un mejor resultado cuando se aplica mayor presión en el conformado de las probetas en la primera etapa del proceso.

Sin embargo, las P0 son las que presentan mayor absorción de agua en la prueba respecto a las demás, demostrando que es un material con alta porosidad donde la vitrificación no fue eficiente dado a que el grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la arcilla cocida. Entre menos sea la absorción, mayor será su vitrificación (7).

Ante esto, y dado a que los materiales cerámicos porosos resisten mejor el choque térmico, se podría esperar que al incrementarse la temperatura de cocción la porosidad disminuya.

Muchos materiales son usados en estados muy porosos para biorremediación y es frecuente encontrar materiales combinados: una capa porosa con buenas propiedades de aislamiento combinada con una delgada chaqueta de material más denso que provee resistencia (10).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales y mineralógicas del material. Esto implica que las moléculas de agua ocupan rápidamente los canales estructurales o los espacios interlaminares de la estructura cristalina cuando las probetas son sometidas al ensayo.

La absorción de agua afecta la durabilidad de la unidad y la mampostería. Si el ejemplar tiene absorción alta, puede presentar cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración del agua, y puede causar decoloraciones.

Los resultados fueron confrontados con la NTC 4205-1 en donde se establece un 16% como máximo valor permitido para especímenes con destino a Mampostería Estructural. Tal como se aprecia en la figura 18, sólo la Probeta No. 100 cumple con ella dado a que tiene una capacidad de absorción en promedio de 16.5%. Esto implica que las probetas elaboradas agregando el lodo aluminoso no pueden ser usadas en Mampostería estructural ya que suponen una alta tasa de absorción de agua (valores entre el 25.7% y 53.4%). Este inconveniente se traduce en humedades en muros y por tanto, una disminución de su resistencia mecánica.

La alta absorción de agua en las probetas que contienen %wt de lodo aluminoso puede ser explicada por la presencia de vermiculita, caolinita y haloisita. Estos minerales arcillosos expandibles retienen gran cantidad de agua en su estructura que es fácilmente liberada en el secado y cocción dejando espacios o poros que son llenados de forma incompleta en la vitrificación. Posteriormente entonces, serán lugares propicios para albergar moléculas de agua cuando se expongan al agua los ejemplares sinterizados.

Ante esto, una solución viable para mejorar la pasta cerámica conformada con el lodo, es un tratamiento previo del mismo calcinando el polvo de lodo aluminoso en un rango de temperatura de 450 a 550°C ya que está comprobado que a esta temperatura la Halosita modifica su estructura cristalina al perder agua disminuyendo la contracción en secado y cocción e incrementando la vitrificación (11).

La norma recomienda cuando los valores son superiores al máximo permitido, hacerse un análisis térmico diferencial de la materia prima y del producto cocido (NTC 4017) para determinar si la temperatura de cocción fue suficiente o no para formar fases cristalinas estables. Esta sugerencia además puede dar a oportunidades de mejoramiento a nivel de densidad y porcentajes de contracción menores, nombradas en párrafos anteriores.

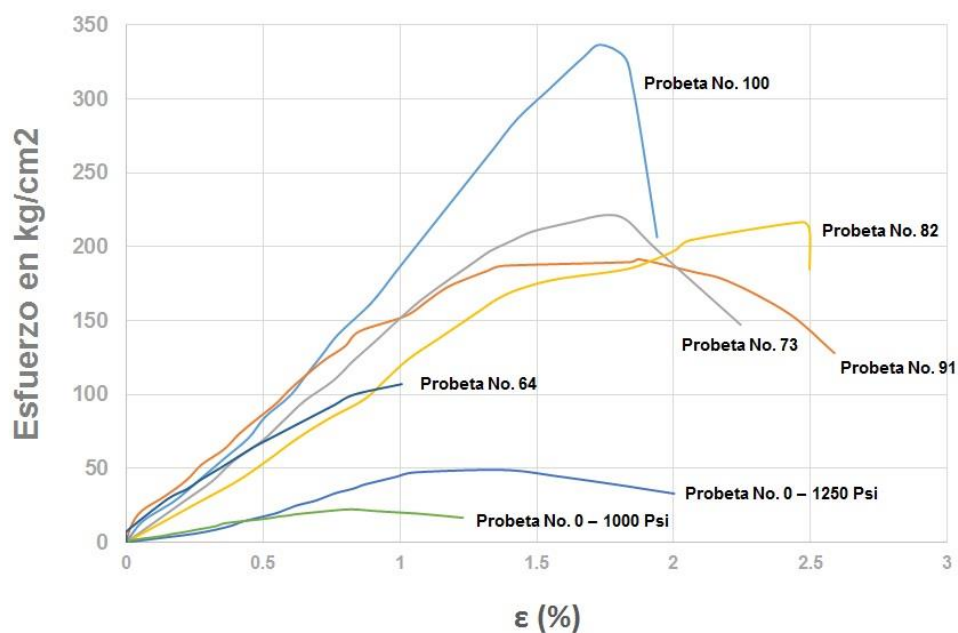
El último ensayo practicado en los ejemplares fue la resistencia mecánica a la compresión. En esta prueba, las probetas se sometieron a una carga axial de 0.1 kN/min. Los resultados se muestran en la Tabla 8 y la Figura 23.

El tiempo fue variable en cada ensayo de resistencia a compresión, dado a que cada probeta tuvo diferentes resistencias. En promedio, las probetas No. 91 soportaron 11.90 minutos (713.983 s) pese a que su resistencia no fue la más destacable. El ensayo aplicado probetas No. 0 prensadas a 1000 Psi fue el más corto.

Tabla 8. Resumen de los Resultados reportados en el Ensayo de Resistencia a Compresión

		CÓDIGO DE LAS PROBETAS						
		0-1000	0-1250	64	73	82	91	100
PARÁMETROS DETERMINADOS	Altura (mm)	53.68	49.46	40.7	38.31	36.84	36.33	33.51
	Diámetro (mm)	42.95	43	42.44	43.41	43.2	42.99	42.76
	Peso (g)	82.80	81.75	83.71	91.1	92.04	92.4	89.26
	Área (cm ²)	14.49	14.52	14.15	14.80	14.66	14.52	14.36
	Volumen (cm ³)	77.77	71.83	57.58	56.70	54.00	52.73	48.12
	Densidad (g/cm ³)	1.06	1.14	1.45	1.61	1.70	1.75	1.85
	Carga Axial (kg)	325.49	720.64	1529.5 8	3335.2 0	3256.7 8	2834.3 1	4919.5 4
	Carga Axial (KN)	3.19	7.07	15.00	32.71	31.94	27.80	48.24
	Esfuerzo en MP	2.19	4.80	10.50	21.71	21.25	18.79	33.02
	Tiempo del Carga (s)	460.31	635.93 2	633.56	549.89 6	590.43 2	713.98 3	520.82 4

Figura 23. Resistencia a Compresión de las Probetas.



En la tabla también se resalta la relación entre la altura de la probeta y la cantidad de lodo agregado en ella. A medida que se incrementa la cantidad de lodo aluminoso la altura de la probeta y por tanto, su volumen se hacen mayores. Esto afecta directamente la densidad de las mismas, observándose que ésta, se hace menor.

La gráfica representa la relación entre la carga impresa a la probeta y el porcentaje de deformación que sufren los ejemplares. La deformación aumenta en la medida en que se aplica mayor fuerza, pero llega un momento en que el material no resiste la compresión y colapsa. El pico máximo se interpreta entonces, como la mayor resistencia que el ejemplar puede resistir ante la fuerza aplica.

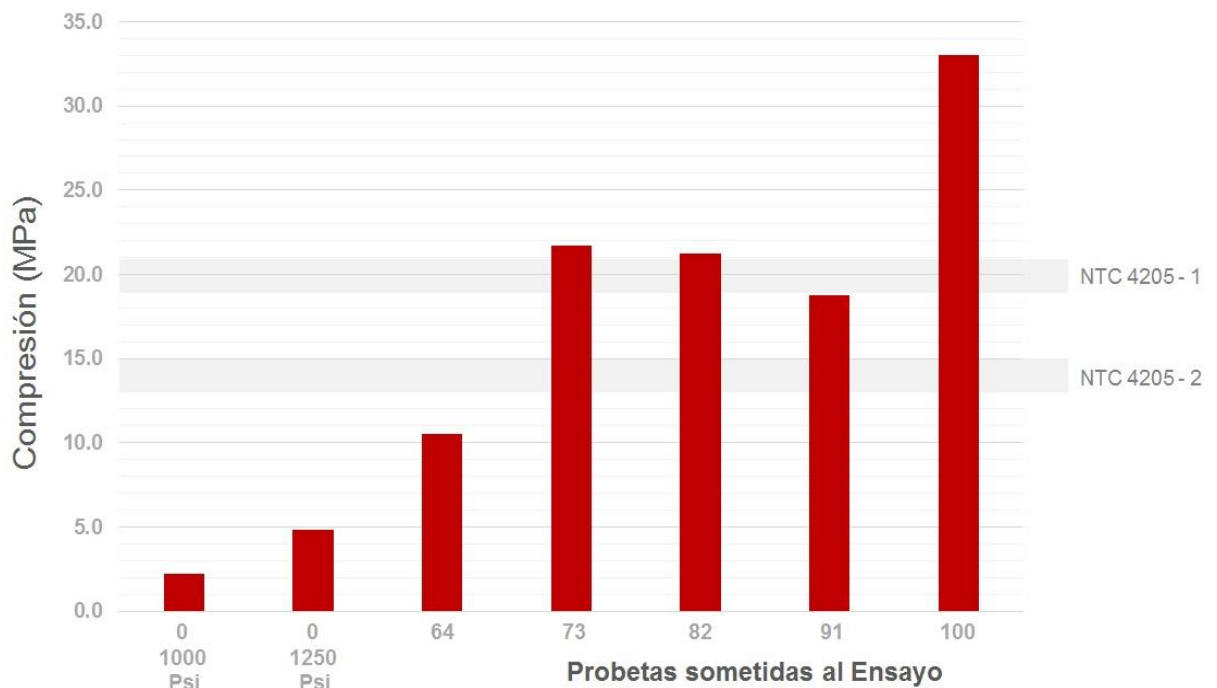
Los resultados reportados demuestran la mejor resistencia en las probetas elaboradas al 100% de arcilla atomizada con 33.02 MPa (336.71 kgf/cm²); seguidas por las Probetas No. 73 con 21.71 MPa (221.38 kgf/cm²), las No. 82 con 21.25 MPa (216.69 kgf/cm²), las No. 91 con 18.79 MPa (191.60 kgf/cm²) y las No. 64 con 10.50 MPa (107.07 kgf/cm²).

Los resultados más bajos los presentan las probetas elaboradas al 100% de lodo aluminoso: la probeta prensada a 1000 Psi tuvo una resistencia a la compresión de 2.19 MPa y la prensada a 1250 de 4.80 MPa. Sin embargo, entre estos dos, muestra mejor resultado las probetas prensadas a 1250 Psi. Esta premisa permite entonces considerar que al incrementar la presión del prensado se puede mejorar la compactación del material con un incremento de su resistencia como resultados. No obstante, debe considerarse además, el incremento de la temperatura de cocción y el pretratamiento de la muestra mencionado en párrafos inmediatamente anteriores.

La fractura frágil de las probetas P0 se intensifica por la presencia de fracturas y su alta porosidad. Los poros y otras imperfecciones microscópicas actúan como entallas o concentradores de esfuerzo, reduciendo la resistencia a los esfuerzos mencionados (7). La porosidad del lodo aluminoso puede conferirle una alta plasticidad, sin embargo, la presencia de minerales en éste como feldespatos (Ortoclasas y Albita) y minerales arcillosos no expandibles (Vermiculita y Moscovita) disminuyen su resistencia mecánica. La tendencia a fracturarse podría ser explicada por la presencia de ortoclasas y albita dado a que son minerales antiplásticos.

La resistencia mecánica de las probetas se comparó ahora con la NTC 4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida: Ladrillos y bloques cerámicos”. Los resultados se ilustran en la figura 25.

Figura 24. Resistencia a Compresión en términos de la NTC 4205



De acuerdo a las mezclas preparadas entre el lodo aluminoso y la arcilla atomizada, la mezcla que mostró el mejor resultado de resistencia mecánica fue la elaborada con 30%wt de lodo y 70%wt de arcilla atomizada.

Según la gráfica, las probetas No. 73, 82 y 100 pueden ser usadas como unidades de mampostería estructural y las probetas No. 91 como unidades de mampostería no estructural. Lo anterior traduce en que ladrillos cerámicos elaborados al 30%wt y 20%wt con lodo aluminoso pueden ser usados como mampuestos en muros interiores y exteriores ya que superan el valor mínimo permitido de resistencia mecánica (20 MPa).

Por otra parte, los ladrillos elaborados en una mezcla al 10%wt con lodo aluminoso pueden tener aplicación en construcción para muros interiores divisorios y cortafuegos no estructurales ya que superan el valor mínimo permitido de resistencia mecánica (14 MPa).

Debe destacarse que estos ladrillos en un uso exterior deberían tener un acabado de protección con revoque o pañete, enchape u otra mampostería que los proteja de la exposición a la intemperie y de la tendencia a generar humedad. Esto está soportado en el ensayo de capacidad de absorción cuyo resultado fue desfavorable para los ejemplares.

5. CONCLUSIONES

En la PTAP Algodonal se generan dos tipos de lodos: naturales y aluminosos. Los primeros se producen en los desarenadores y los segundos, en floculadores, sedimentadores y filtros. Estos últimos son el resultado de la mezcla entre las partículas en suspensión del agua cruda y los reactivos agregados para potabilizarla.

La producción de lodos mensual en la Planta de tratamiento, estimada de forma teórica, es de 8.3 ± 2.8 Ton lodo/mes. Esta cantidad depende de la turbidez, pH, dosis de coagulante y aditivos agregados al agua durante la potabilización.

Los lodos no reciben ningún tratamiento en la PTAP antes de ser vertidos directamente sobre el cuerpo de agua. Los análisis de laboratorio evidencian que éstos no son tóxicos y que por tanto, no representarían un riesgo potencial para los seres vivos. La composición química de las muestras de lodo aluminoso es muy uniforme donde el componente mayormente identificado es el sílice, seguido del aluminio y el hierro.

La composición mineralógica de los lodos es similar tanto en invierno como en verano, revelando un comportamiento arcilloso con alta plasticidad y capacidad de absorción de agua por la presencia de minerales arcillosos, pero que puede tener alta porosidad por la presencia de feldespatos y minerales no expandibles que al ser sometidos a cocción generan posibles fisuras o grietas en los ladrillos.

No es viable usar el lodo aluminoso como único componente en la elaboración de ladrillos cerámicos debido a que éste disminuye la resistencia mecánica e incrementa el porcentaje de absorción de agua en los ejemplares macizos

sinterizados. Esto se observó en las probetas No. 0 a 1000 y 1250 Psi con 53.4% y 47.2% de absorción de agua donde la compresión fue de 2.19 MPa y 4.80 MPa, respectivamente. En este mismo sentido, ladrillos elaborados solamente con lodo aluminoso tendrían contracciones significativas que generarían en el producto final, cambios dimensionales.

Sin embargo, el lodo aluminoso puede usarse como componente de la mezcla para elaborar ladrillos cerámicos. De acuerdo a las mezclas preparadas entre el lodo aluminoso y la arcilla atomizada, la mezcla que mostró el mejor resultado de resistencia mecánica fue la elaborada con 30%wt de lodo y 70%wt de arcilla atomizada con 21.71 MPa. Según esto, ladrillos elaborados con esta mezcla pueden ser empleados en mampostería estructural y no estructural.

Ninguna de las probetas superó el valor mínimo permitido de absorción de agua descrito en la norma demostrando que la vitrificación no fue eficiente. Una mayor temperatura de cocción formaría fases cristalinas más estables entendidas como un mejor sinterizado del material y cuyos productos finales tendrían una mayor calidad en términos de resistencia mecánica y especialmente, de capacidad de absorción.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] SANDOVAL, L, y otros, y otros. Tratabilidad de los lodos producidos en la coagulación de aluminio en la potabilización del agua. Seminario Regional Bienal sobre Potabilización. s.l., México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1998.
- [2] CANIANI, D., MASI, S. y MANCINI, I.M. y TRULLI, E. *Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications*. s.l. : 33, 11 de Marzo de 2013, Waste Management, págs. 1461-1468.
- [3] MARTINEZ CORDOBA, Marco Vinicio. Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final de lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. Quito, Perú : Escuela Politécnica Nacional, 2012. pág. 186.
- [4] BABATUNDE, A. O. y ZHAO, Y. Q. *Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses*. 2, 23 de Noviembre de 2006, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol. 37, págs. 129-164.
- [5] BERON, C.F. Incidencia de los pretratamientos en medios porosos en el tratamiento de agua químicamente coagulada. Tesis de Maestría. Cali : Universidad del Valle., 1997.
- [6] SALGAR HERNÁNDEZ, José Gabriel. Naturaleza de los lodos producidos en el proceso de potabilización en la Planta de Bosconia utilizando sulfato de aluminio líquido como coagulante. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2006. pág. 73.
- [7] USECHE ARCINIEGAS, Victo Julio. *Propiedades Termofísicas en Polvos de Arcillas Rojas obtenidas por secado Spray-dried (procesos de atomización)*. Pamplona : Universidad de Pamplona., 2010. pág. 163, Tesis Maestría.
- [8] ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. [ed.] Rodrigo. Pertuz Molina. Primera. Bogotá, D.C. : McGraw Hill Interamericana, S.A., 2000. pág. 362.
- [9] LINARES GONZÁLEZ, J. y HUERTAS GARCÍA, F. y CAPEL MARTÍNEZ, J. *La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento*. Norteamérica. : s.n., 1983, Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, Vol. 8, págs. 479-490.
- [10] VÁSQUEZ MALAGÓN, Emma del Carmen. *Materiales cerámicos: Propiedades, Aplicaciones y Elaboración*. México : Universidad Nacional Autónoma de México., 2005. pág. 132. Vol. I.
- [11] ALVAREZ ESTRADA, Demetrio y GONZALEZ PEÑA, Julia María. *Caracterización y estudio técnico de la haloisita de Foz (Lugo)*. 2, 1964, Boletín de la Sociedad española de cerámica y vidrio, Vol. 3, págs. 141-151.
- [12] GARCÍA VICENTE, José y GARCÍA VERDUCH, Antonio. *La haloisita: materia prima cerámica*. 8, 1962, Boletín de la Sociedad española de cerámica y vidrio., Vol. 1, págs. 531-537.

- [13] CORPONOR. *Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del Río Algodonal*. San José de Cúcuta : Subdirección de Recursos Naturales. Grupo POMCH., 2010. pág. 53.
- [14] MORALES PÉREZ, Yeimi Liceth y NIÑO CÁCERES, Zulma Patricia. *Estudio de los efectos térmicos en velocidad y tiempo durante la etapa de cocción de las arcillas en San José de Cúcuta para estudiar los requerimientos energéticos*. Bucaramanga. : Universidad Industrial de Santander., 2006. pág. 81, Tesis de Ingeniería Química.
- [15] WACHTMAN Jr., J. B. 1967, *Mechanical properties of ceramics. An introductory survey*. The American Ceramics Society Bulletin, Vol. 46, págs. 757-774.
- [16] BABATUDE, A. O. y ZHAO, Y. Q. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: An international review of beneficial reuses. Dublin, Ireland : Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2007. Vol. 37, 2, págs. 129-164.
- [17] ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y Práctica de Purificación del Agua*. Tercera. Bogotá, D.C. : McGraw Hill Interamericana, S.A., 2000. pág. 362.
- [18] LEGUEY, S., y otros, y otros. *Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas*. 6, Sevilla : s.n., 2001, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio., Vol. 40, págs. 455-459.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA. Concejo Municipal de Ocaña. Plan de Ordenamiento Territorial. 2002 – 2011. Ocaña: Oficina de Planeación Municipal, 2012. p. 547

ALCALDÍA MUNICIPAL DE OCAÑA. Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, CMGRD. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Julio, 2012.

ALVAREZ ESTRADA, D., & GONZALEZ PEÑA, J. M. (1964). Caracterización y estudio técnico de la haloisita de Foz (Lugo). Boletín de la Sociedad española de cerámica y vidrio, 3(2), 141-151. Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/196403141.pdf>

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y Práctica de Purificación del Agua*. 3^{ra} Ed. Santa Fé de Bogotá, D.C.: McGraw Hill Interamericana, S.A., 2000. p. 362

BABATUDE, A. O., & ZHAO, Y. Q. (2007). Constructive approaches toward water treatment works sludge management: An international review of beneficial reuses. 37(2), 129-164. Dublin, Ireland: Critical Reviews in Environmental Science and Technology. doi:10.1080/10643380600776239

BERON, C. (1997). Incidencia de los pretratamientos en medios porosos en el tratamiento de agua químicamente coagulada. Tesis de Maestría. Cali: Universidad del Valle. Recuperado el 2013

CACUA TIRADO, Carolina y SARAIVA SAMPAYO, Dionisio Orlando. Tesis de Ingeniería Química: *Diseño conceptual del proceso de Tratamiento de lodos para La planta Bosconia del A.M.B. S.A. E.S.P.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008. p. 105

CANIANI, D.; MASI, S.; MANCINI, I.M. y TRULLI, E. “Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications” En: Waste Management; 33 1461–1468, Marzo 11 de 2013.

CERDEÑO, Francisco y PÉREZ, Agripino. “Viabilidad técnica de uso de lodos de estaciones de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) en la fabricación de materiales cerámicos para la construcción” AITEMIN-Centro Tecnológico. España: 2006

CERON, Oswaldo; MILLAN, Sandra; ESPEJEL, Fabricio, RODRIGUEZ, Arturo y RAMIREZ, Rosa María. Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar materiales de construcción. México, D.F.: Universidad Nacional de México. p. 11.

CORPONOR. Documento de Caracterización Ambiental asociada al Plan Departamental de Aguas –PDA del Departamento Norte de Santander. San José de Cúcuta: 2009.

CORPONOR. Subdirección de Recursos Naturales. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Algodonal. Cúcuta: 2010. p. 53.

CORPONOR. (2010). Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del Río Algodonal. San José de Cúcuta: Subdirección de Recursos Naturales. Grupo POMCH. Obtenido de

http://www.corponor.gov.co/publica_recursos/pomca/algodonol/PLAN_DE_ORDENACION_Y_MANEJO_CUENCA_RIO_ALGODONAL.pdf

CORPONOR. Síntesis Ambiental de Norte de Santander. 2007. p. 67

CHIANG, K.; CHOU, P. y CHIEN, L. "Novel lightweight building bricks manufactured from water treatment plant sludge and agricultural waste" En: Journal of Residuals Science and Technology; Vol 6 (4); 185-192, Octubre de 2009.

GARCÍA VICENTE, J., & GARCÍA VERDUCH, A. (1962). La haloisita: materia prima cerámica. Boletín de la Sociedad española de cerámica y vidrio., 1(8), 531-537. Recuperado el Octubre de 2015, de <http://boletines.secv.es/upload/20120210120335.196201531.pdf>

HEGAZY, B.; FOUAD, Hanan A. y HASSANAIN, Ahmed M. "Brick Manufacturing From Water Treatment Sludge And Rice Husk Ash" En: Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(3): 453-461, 2012.

HERNANDEZ, Darwin; VILLEGAS, Juan David y CASTAÑO, Juan Mauricio. "Aprovechamiento de Lodos Aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción" En: Revista Ingenierías. Vol. 5(8): 119-132 Enero- Junio de 2006.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Métodos para muestreos y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de Arcilla. Bogotá, D.C. 2005. p. 28

ICONTEC. NTC 4051. Productos Cerámicos para Construcción. Definiciones y Términos. Bogotá, D.C. 2005. p. 12

ICONTEC. NTC 4205. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos. Bogotá, D.C. 2005. p. 59

JOHNSON, D. "Solidification of water treatment works sludge with ettringite cement and pulverised-fuel ash" En: Taylos & Franis Group, LLC. London, ISBN 04 1537 460 X, 2005.

LEGUEY, S., CARRETERO, M. I., FABBRI, B., & GALÁN, E. (2001). Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio., 40(6), 455-459. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2889772>

LINARES GONZÁLEZ, J., & HUERTAS GARCÍA, F. y. (1983). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, 8, 479-490. Recuperado el Noviembre de 2015, de <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/view/1224/1415>

MARTINEZ CORDOBA, M. V. (2012). Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final de lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. 186. Quito, Perú: Escuela Politécnica Nacional.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 de 1984. República de Colombia. Bogotá, 1984.

MORALES PÉREZ, Y. L., & NIÑO CÁCERES, Z. P. (2006). Estudio de los efectos térmicos en velocidad y tiempo durante la etapa de cocción de las arcillas en San José de Cúcuta para estudiar los requerimientos energéticos. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 2015, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6196/2/120064.pdf>

RAK, Janusz R. y KUCHARSKI. "Sludge management in Water Treatment Plants" En: Environment Protection Engineering. Vol. 35 (2) 2009.

SALGAR HERNÁNDEZ, José Gabriel. Monografía de Especialización en Ingeniería Ambiental: *Naturaleza de los lodos producidos en el proceso de potabilización en la Planta de Bosconia utilizando sulfato aluminio líquido como coagulante*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006. p. 73.

SANDOVAL, L., FLORES, L. M., MONTELLANOS, L., MORÁN, M. A., RUBI, R., SÁNCHEZ, L. O., SANTANA, M. L., VÁSQUEZ, S. y MARTÍN, A. 1998. Tratabilidad de los lodos producidos en la coagulación de aluminio en la potabilización del agua. Seminario Regional Bienal sobre Potabilización. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México

SKOOG, Douglas A.; JAMES HOLLER, F. y NIEMAN, Timothy A. *Principios de Análisis Instrumental*. 5^{ta} Edición. Madrid: McGraw Hill, Interamericana de España S.A.U., 2001. p. 1028

TORRES, Patricia; HERNANDEZ, Darwin y PAREDES, Diego. "Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos". En: Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 27(3): 145-154, Diciembre de 2012.

USECHE ARCINIEGAS, V. J. (2010). Propiedades Termofísicas en Polvos de Arcillas Rojas obtenidas por secado Spray-dried (procesos de atomización). Pamplona: Universidad de Pamplona. Recuperado el Octubre de 2015

VÁSQUEZ MALAGÓN, E. d. (2005). Materiales cerámicos: Propiedades, Aplicaciones y Elaboración. (Vol. I). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

WACHTMAN Jr., J. B. (1967). Mechanical properties of ceramics. An introductory survey. The American Ceramics Society Bulletin, 46, 757-774. Recuperado el Noviembre de 2015

ANEXOS

ANEXO A. PROTOCOLO PARA LA RECOLECCIÓN DE LODOS.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN QUÍMICA AMBIENTAL



CONTEXTO

En la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña, ESPO S.A, se está desarrollando el trabajo de aplicación titulado "Caracterización y Reuso de Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Río Algodonal en el Municipio de Ocaña" por parte de la Estudiante de Maestría Lisbeth Jackeline López Salazar. La metodología propuesta para cumplir con el objetivo general es abordada en tres grandes etapas: Reconocimiento de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), Caracterización Fisicoquímica y Reuso a Nivel Industrial.

Con esta salida de campo, se dará cumplimiento a tres actividades de la primera etapa y a una de la segunda. La salida es respaldada con evidencias fotográficas.

En la siguiente tabla resumen, se detalla lo anteriormente nombrado:

Etapa 1: Reconocimiento de los Lodos Generados en la PTAP		Etapa 2: Caracterización Fisicoquímica de los Lodos	
	Identificación de la cantidad y calidad del agua cruda captada, del caudal del cuerpo de agua y la época del año en que se hace la recolección.		Muestreo.
	Reconocimiento del diseño de la Planta de Tratamiento y de las etapas del proceso en que se generan lodos.		Caracterización Fisicoquímica de los Lodos Aluminosos
	Reconocimiento del proceso usado por los operadores para el lavado de tanques (purga y retrolavado), frecuencia y eficiencia de los equipos o la maquinaria empleada, el tratamiento dado y la disposición final.		
	Cuantificación de los lodos Aluminosos		

SALIDA DE CAMPO N° 3

Objetivos:

- ✓ Recolectar muestras puntuales del lodo generado en los tanques sedimentadores de la PTAP del Río Algodonal durante época de lluvias.
- ✓ Cuantificar los lodos generados en los tanques sedimentadores aplicando aforos.
- ✓ Registrar el mecanismo de desagüe, lavado y purga de los tanques sedimentadores por parte de los operadores de la Planta.

Fecha: Lunes 11 de Noviembre de 2013
Lugar: PTAP del Río Algodonal, Km

Hora: 7:00 am – 3:00 pm

Jackeline López, Código 2138109



Estudiante: Lisbeth Jackeline López Salazar, Código 2138109, Maestría en Química Ambiental, UIS.

Asistencia de Registro Fotográfico: Renson Andrey García Arengas, Código 0180800, Ingeniería de Minas, UFPS

Materiales y Recursos: Cava, lazo, cinta métrica, tubo recolector de PVC, bolsas de cierre hermético, formato rotulador, vara graduada, cámara fotográfica, operadores, estudiante y asesor.

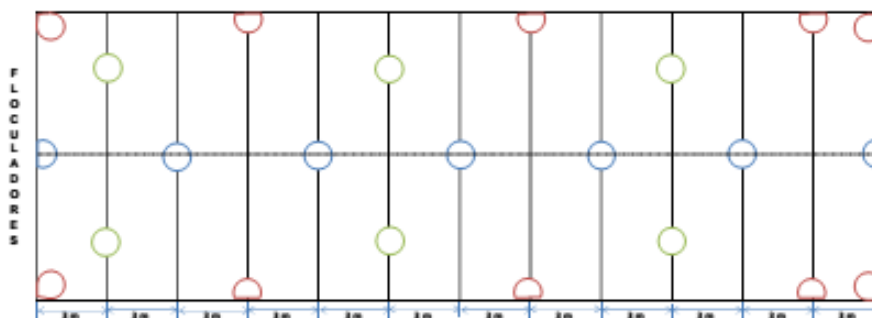
PROCESO

A. MUESTREO

Técnica de Muestreo: El muestreo se llevará a cabo el día Lunes 11 de Noviembre de 2013 coincidiendo con la Temporada lluviosa y el lavado mensual de los tanques sedimentadores.

La técnica de recolección de muestras puntuales se hará mediante columna con un tubo de 1½ de PVC; se busca obtener una muestra que atraviese perpendicularmente el espesor del lodo de tal forma que ésta sea completa respecto a la sedimentación del residuo en el tanque. La distribución de las muestras en la recolección será en "zigzag" dobles a lo largo del tanque sedimentador tal como se ilustra en la figura. El total de muestras será de 23 para cada tanque.

Figura X. Muestreo en "zigzag doble" en los Tanques Sedimentadores de la PTAP Algodonal.



El tubo de PVC de estará limpio y purgado con agua destilada y luego con agua cruda, la misma que se encuentra en el tanque sedimentador antes de ser vaciado. Este tubo se introduce en la capa de lodo y se sella en su base con una tapa, a fin de transportarlo para empacarlo en una bolsa hermética. Estas bolsas serán rotuladas atendiendo a la identificación de cada tanque y al orden en que fue recolectada. El proceso se repite purgando el tubo con agua cruda.

Tipos de Muestras: Para el estudio se usarán muestras puntuales y muestras integrales. Las 23 muestras puntuales formarán una muestra integral usando la estrategia del "cuarteo"; de esta manera, se obtienen 4 muestras integrales correspondientes a los 4 tanques sedimentadores. Posteriormente, de éstas 4 se formará una sola muestra que será transportada al Laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para ser analizada.

Esta muestra será dividida a su vez en dos, una que estará completa con su contenido de humedad y la otra, deshidratada a condiciones naturales durante 10 días.

Jackeline López, Código 2138109



Transporte y Custodia de las Muestras: Las muestras serán conservadas en una bolsa de cierre hermético de 1 kg y transportadas en una cava a 4°C.

B. CUANTIFICACION DE LOS LODOS

Para cuantificar los lodos generados en los tanques sedimentadores se usará 1 aforo en cada punto del tanque, tal como fue dividido en la primera parte. Para el aforo se usará una vara graduada que se sumergirá en la capa de lodo para calcular la altura al tiempo que se recolectan las muestras puntuales.

C. REGISTRO DEL LAVADO DE TANQUES

Mediante registro fotográfico y entrevista al operador de turno, se reconocerá el proceso usado por los operadores para el lavado de tanques (purga y retrolavado); frecuencia y eficiencia de los equipos o la maquinaria empleada, el tratamiento dado y la disposición final que tienen los residuos de la potabilización.

ANEXO B. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS.

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 5	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 4353 de 2013, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-15-155	Fecha de emisión:	Abril 17 de 2015
Cliente:	JACKELINE LOPEZ SALAZAR		
Dirección del cliente:	Avenida 5 No. 7-30 Barrio Aeropuerto		
Solicitud de servicio No.	15-137	No. de muestras:	04
Fecha de recepción de las muestras:	Abril 10 de 2015		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Abril 10 de 2015 – Abril 17 de 2015		

1. ANALISIS FÍSICOQUÍMICO

Codificación de la Muestra:	15-137-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Invierno-SEDIMENTADOR 1		
Matriz de la muestra:	Lodo Seco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Ocaña / Planta de Tratamiento		
Fecha del muestreo:	Mayo 16 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	4,95	Potenciométrico / SM 5264
Cenizas (%)	84,33	Potenciométrico / SM 5264
Sólidos Suspendedos Volátiles (%)	15,57	Gravimétrico/ NTC 5167
Carbono Orgánico Total (%C)	0,997	Titrimétrico/ NTC 5167
Aluminio Total (% Al)	4,01	Espectrofotométrico/ NTC 5167
Hierro (% Fe)	4,23	Absorción Atómica/EPA 3050 E y SM 3111 D
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	0,05	Absorción Atómica/EPA 3050 B y SM 3111 B
Sodio (mg Na/kg)	745,12	Turbidimétrico/ SM 4500-SO ₄ ⁻² E
Potasio (% K)	0,24	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	362,71	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Arsénico (mg As/kg)	<0,33	Absorción Atómica/NTC 5167
Cromo (mg Cr/kg)	<24,07	Absorción Atómica/ EPA 3050 B y EPA 7062
Plomo (mg Pb/kg)	19,34	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 D
Magnesio (% Mg)	0,48	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cadmio (mg Cd/kg)	<3,73	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Níquel (mg Ni/kg)	<19,38	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cobre (mg Cu/kg)	27,57	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cinc (mg Zn/kg)	10,77	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469,2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com; labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 5	

Informe de resultados No. I-15-155 Solicitud de servicio No. 15-137

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-137-02	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Invierno-SEDIMENTADOR 2		
Matriz de la muestra:	Lodo Seco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Ocaña / Planta de Tratamiento		
Fecha del muestreo:	Mayo 16 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	5,14	Potenciométrico / SM 5264
Cenizas (%)	85,80	Potenciométrico / SM 5264
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	14,20	Gravimétrico/ NTC 5167
Carbono Orgánico Total (%C)	1,044	Titrimétrico/ NTC 5167
Aluminio Total (% Al)	4,34	Espectrofotométrico/ NTC 5167
Hierro (% Fe)	4,43	Absorción Atómica/EPA 3050 E y SM 3111 D
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	0,05	Absorción Atómica/EPA 3050 B y SM 3111 B
Sodio (mg Na/kg)	1202	Turbidimétrico/ SM 4500-SO ₄ ⁻² E
Potasio (% K)	0,26	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	499,58	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Arsénico (mg As/kg)	<0,33	Absorción Atómica/NTC 5167
Cromo (mg Cr/kg)	<24,07	Absorción Atómica/ EPA 3050 B y EPA 7062
Plomo (mg Pb/kg)	<6,58	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 D
Magnesio (% Mg)	0,60	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cadmio (mg Cd/kg)	<3,73	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Níquel (mg Ni/kg)	<19,38	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cobre (mg Cu/kg)	25,48	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cinc (mg Zn/kg)	8,44	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext.1469, 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 5	

Informe de resultados No. I-15-155 Solicitud de servicio No. 15-137

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-137-03	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Verano- SEDIMENTADOR		
Matriz de la muestra:	Lodo Seco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Ocaña / Planta de Tratamiento		
Fecha del muestreo:	Mayo 16 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	5,39	Potenciométrico / SM 5264
Cenizas (%)	82,81	Potenciométrico / SM 5264
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	17,19	Gravimétrico/ NTC 5167
Carbono Orgánico Total (%C)	1,500	Titrimétrico/ NTC 5167
Aluminio Total (% Al)	5,01	Espectrofotométrico/ NTC 5167
Hierro (% Fe)	4,23	Absorción Atómica/EPA 3050 E y SM 3111 D
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	0,05	Absorción Atómica/EPA 3050 B y SM 3111 B
Sodio (mg Na/kg)	707,65	Turbidimétrico/ SM 4500-SO ₄ ⁻² E
Potasio (% K)	0,19	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	306,23	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Arsénico (mg As/kg)	<0,33	Absorción Atómica/NTC 5167
Cromo (mg Cr/kg)	<24,07	Absorción Atómica/ EPA 3050 B y EPA 7062
Plomo (mg Pb/kg)	21,43	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 D
Magnesio (% Mg)	0,303	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cadmio (mg Cd/kg)	<3,73	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Níquel (mg Ni/kg)	<19,38	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cobre (mg Cu/kg)	24,19	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cinc (mg Zn/kg)	7,12	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext.1469, 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16	
		Página 4 de 5	

Informe de resultados No. I-15-155 Solicitud de servicio No. 15-137

4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-137-04	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Verano - FLOCULADOR		
Matriz de la muestra:	Lodo Seco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Ocaña / Planta de Tratamiento		
Fecha del muestreo:	Mayo 16 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	4,94	Potenciométrico / SM 5264
Cenizas (%)	82,59	Potenciométrico / SM 5264
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	17,41	Gravimétrico/ NTC 5167
Carbono Orgánico Total (%C)	1,448	Titrimétrico/ NTC 5167
Aluminio Total (%Al)	4,25	Espectrofotométrico/ NTC 5167
Hierro (% Fe)	3,91	Absorción Atómica/EPA 3050 E y SM 3111 D
Sulfatos (%SO ₄ ⁻²)	0,05	Absorción Atómica/EPA 3050 B y SM 3111 B
Sodio (mg Na/kg)	762,64	Turbidimétrico/ SM 4500-SO ₄ ⁻² E
Potasio (% K)	0,18	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Sílice (mg SiO ₂ /kg)	264,41	Absorción Atómica/ EPA 3050 B , SM 3111 B
Arsénico (mg As/kg)	<0,33	Absorción Atómica/NTC 5167
Cromo (mg Cr/kg)	<24,07	Absorción Atómica/ EPA 3050 B y EPA 7062
Plomo (mg Pb/kg)	<6,58	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 D
Magnesio (% Mg)	0,423	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B
Cadmio (mg Cd/kg)	<3,73	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Níquel (mg Ni/kg)	<19,38	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cobre (mg Cu/kg)	32,12	Absorción Atómica/EPA 3050 B, SM 3111 B
Cinc (mg Zn/kg)	12,28	Absorción Atómica/EPA 3050 B , SM 3111 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext.1469, 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 5 de 5	

Informe de resultados No. I-15-155

Solicitud de servicio No. 15-137

Observaciones: Ninguna

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. M.Sc Química UIS
MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López G

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Conmutador: (7) 6344000 Ext.1469, 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
Bucaramanga - Colombia

		LABORATORIO DE RAYOS-X		Código: F-LRX-04
				Versión: 1
		INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X		Página 1 de 2

FECHA	DIA	MES	AÑO	INFORME	INF-123-14-DRX
	16	05	2014		

DATOS DEL CLIENTE			
Empresa	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE QUÍMICA		
Nombre	MSc. Luz Yolanda Vargas Fiallo		
Dirección	Carrera 27 calle 9, ciudad universitaria	Nit o C.C	890.201.213-4
Ciudad	Bucaramanga, Santander	Orden de Compra	
e-mail	labquimico@gmail.com	Teléfono	6344000

METODOLOGIA DE TRABAJO	
Preparación de las muestras	Las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata y llevadas a un tamaño de 38 μm (400 mesh). El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.
Toma de Datos de Difracción	Se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones: Voltaje 40(kV) Corriente 30(mA) Rendija de Divergencia 0.6mm Rendijas Soller Primario 2.5° Muestreo 0.01526° 2theta Rango de Medición 3.5-70° 2theta Radiación CuKα1 Filtro Níquel Detector Lineal LynxEye Tipo de barrido A pasos Tiempo de muestreo 0.4 segundos
Tratamiento de las muestras	Químico ☐ Térmico ☐ Ninguno ☒

TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS			
Fecha Toma de Datos	14/05/2014	Fecha Análisis de Resultados	---
Tipo de Muestra	Minerales	Fecha de Recepción de la Muestra	13/05/2014

Universidad Industrial de Santander, Km. 2 Via al Refugio Sede UIS-Guatiguará, Edificio de Investigaciones,
 Laboratorio de Rayos-X, Laboratorio 104, Piedecuesta, Santander, PBX 6344000 Ext. 3512
 Apartado Aereo N°678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890.201.213-4
 Página 1 de 2

		LABORATORIO DE RAYOS-X	Código: F-LRX-04
			Versión: 1
		INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Página 2 de 2

Observaciones:

- Los resultados se relacionan únicamente a las muestras analizadas.
- Si desea expresar su percepción con respecto al presente servicio o ensayo, hágalo por medio del correo electrónico rayosx@uis.edu.co o al PBX: 6344000 Ext. 3512.
- No se debe reproducir el informe de ensayo excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Elaboró:

Revisó:

Qco. MSc. José Luis Pinto Camargo
Profesional Analista
PQ. 2009

Dr. José Antonio Henao Martínez
Director Laboratorio
PQ. 0321

sedimentador #1.csm

Crystallographica Search-Match Version 3, 1, 0, 2

Copyright © 1996-2011, Oxford Cryosystems

Report Compiled at 17:30 Friday, May 16, 2014

Search-Match

Settings

Search Range	3.5 to 70.0083
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	Yes

Matched Materials

A Quartz low, syn

Formula	Si O ₂
Pdf Number	010-87-2096
Figure of Merit	68%
Total Peaks	18
Peaks Matched	14
New Matches	14
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.530034
Concentration	0.428364
I / Icorundum	2.88

B Muscovite-2M1, ferrian

Formula	K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.78} Fe _{0.22} Mg _{0.1} (Al _{0.83} Si _{3.17} O ₁₀) (O H) _{1.56} O _{0.25} F _{0.19}
Pdf Number	010-73-9865
Figure of Merit	23%
Total Peaks	169
Peaks Matched	50
New Matches	50
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.144245
Concentration	0.0186198
I / Icorundum	0.46

C Kaolinite

Formula	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄
Pdf Number	000-01-0527
Figure of Merit	30%
Total Peaks	16
Peaks Matched	13
New Matches	13

Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0790016
Concentration	Not available

D Orthoclase

Formula	$K (Al , Fe) Si_2 O_8$
Pdf Number	000-08-0048
Figure of Merit	25%
Total Peaks	9
Peaks Matched	8
New Matches	8
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0629355
Concentration	Not available

E Vermiculite-2M

Formula	$Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2$
Pdf Number	010-74-1732
Figure of Merit	11%
Total Peaks	199
Peaks Matched	45
New Matches	45
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0836715
Concentration	0.504581
I / Icorundum	21.49

F Albite (heat-treated)

Formula	$Na (Al Si_3 O_8)$
Pdf Number	010-89-6424
Figure of Merit	22%
Total Peaks	198
Peaks Matched	51
New Matches	51
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0854468
Concentration	0.0153459
I / Icorundum	0.64

G Koninckite

Formula	$(Fe , Al) P O_4 \cdot 3 H_2 O$
Pdf Number	000-22-0339
Figure of Merit	16%
Total Peaks	37
Peaks Matched	13
New Matches	13
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0

Scale Factor	0.0424939
Concentration	Not available

H Gibbsite, syn

Formula	Al (OH) ₃
Pdf Number	010-74-6632
Figure of Merit	6%
Total Peaks	138
Peaks Matched	28
New Matches	28
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.059253
Concentration	0.0330888
I / Icorundum	1.99

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	34 / 35

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
6.089	14.5025	576	0.123	100%	E
8.846	9.9887	1806	0.085	100%	B
10.486	8.4299	447	0.085	100%	G
12.258	7.2149	241	0.085	99.1%	CE
16.186	5.4716	132	0.066	95.7%	G
17.761	4.9898	298	0.088	100%	BG
18.298	4.8447	187	0.075	99.9%	H
19.868	4.4651	441	0.111	100%	BCEG
20.856	4.2558	994	0.081	100%	A
22.031	4.0315	366	0.083	100%	CFH
23.567	3.7721	201	0.085	99.9%	DFG
24.295	3.6607	127	0.082	94.3%	F
24.910	3.5716	185	0.108	98.4%	B
25.519	3.4878	179	0.094	99.3%	BF
26.392	3.3743	167	0.095	95.0%	FH
26.645	3.3429	4566	0.083	100%	ABF
27.501	3.2408	497	0.082	100%	DE
27.759	3.2112	235	0.075	99.6%	F
27.947	3.1900	422	0.085	100%	BFGH
28.504	3.1290	116	0.088	96.3%	
29.865	2.9893	187	0.095	99.9%	BEG
30.470	2.9314	135	0.078	98.9%	F
32.058	2.7897	101	0.082	93.9%	BF
34.967	2.5640	261	0.112	100%	BCEG
36.554	2.4562	270	0.090	100%	ABFH
39.469	2.2813	189	0.082	100%	A
40.293	2.2365	91	0.077	93.4%	ABH
42.438	2.1283	208	0.077	100%	ABEF
45.410	1.9957	87	0.072	90.0%	BEFH
45.766	1.9810	139	0.069	99.5%	ABEFH

50.110	1.8190	317	0.081	100%	ABF
59.939	1.5420	209	0.076	100%	ABCEH
67.692	1.3830	128	0.082	99.3%	AB
68.117	1.3754	166	0.070	99.9%	A
68.316	1.3719	121	0.068	98.5%	AB

Card Retrieval Restrictions

Sub-Files

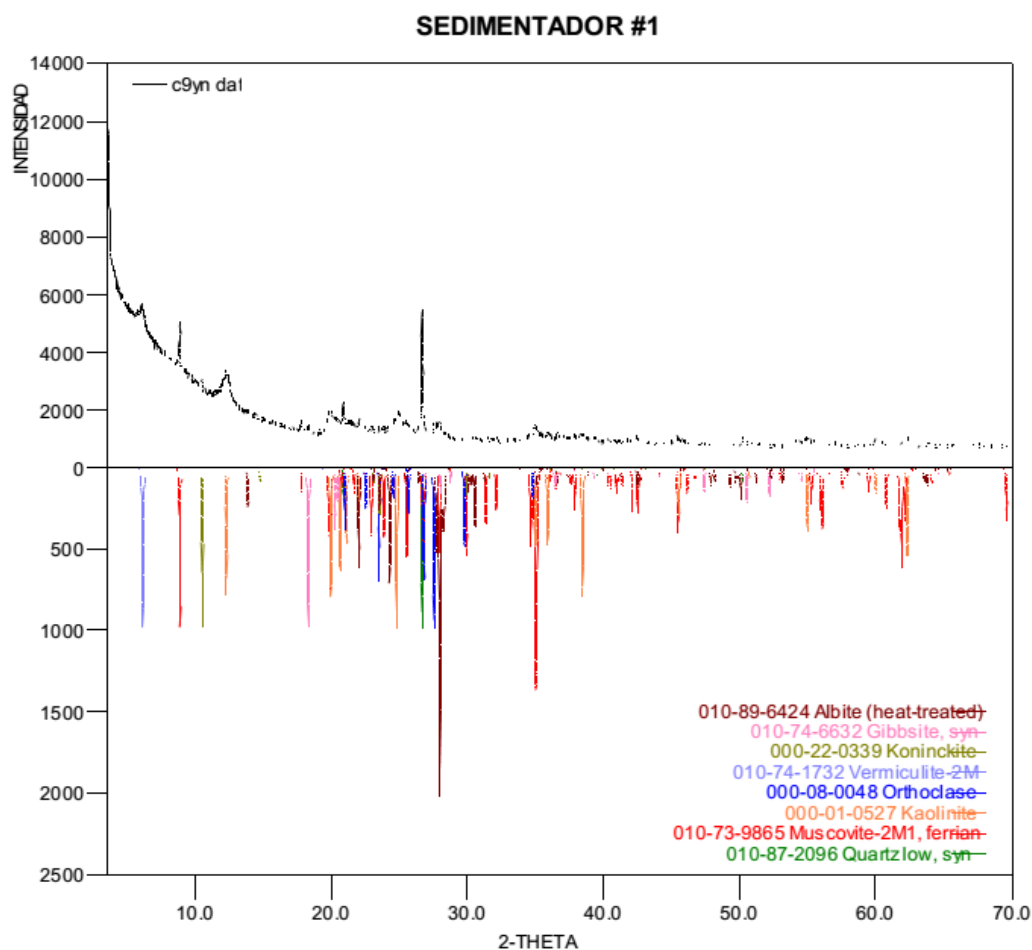
The sub-file must be one of:

- Minerals

Search Results

The search found 27901 matching cards.

Graphics



This is the end of the template file

		LABORATORIO DE RAYOS-X		Código: F-LRX-04
				Versión: 1
		INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X		Página 1 de 2

FECHA	DIA	MES	AÑO	INFORME	INF-132-14-DRX
	16	06	2014		

DATOS DEL CLIENTE			
Empresa	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE QUÍMICA		
Nombre	MSc. Luz Yolanda Vargas Fiallo		
Dirección	Carrera 27 calle 9, ciudad universitaria	Nit o C.C	890.201.213-4
Ciudad	Bucaramanga, Santander	Orden de Compra	
e-mail	labquimico@gmail.com	Teléfono	6344000

METODOLOGIA DE TRABAJO																							
Preparación de las muestras	Las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata y llevadas a un tamaño de 38 μm (400 mesh). El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.																						
Toma de Datos de Difracción	Se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones: <table> <tr><td>Voltaje</td><td>40(kV)</td></tr> <tr><td>Corriente</td><td>30(mA)</td></tr> <tr><td>Rendija de Divergencia</td><td>0.6mm</td></tr> <tr><td>Rendijas Soller Primario</td><td>2.5°</td></tr> <tr><td>Muestreo</td><td>0.01526° 2theta</td></tr> <tr><td>Rango de Medición</td><td>3.5-70° 2theta</td></tr> <tr><td>Radiación</td><td>CuKα1</td></tr> <tr><td>Filtro</td><td>Níquel</td></tr> <tr><td>Detector</td><td>Lineal LynxEye</td></tr> <tr><td>Tipo de barrido</td><td>A pasos</td></tr> <tr><td>Tiempo de muestreo</td><td>0.4 segundos</td></tr> </table>	Voltaje	40(kV)	Corriente	30(mA)	Rendija de Divergencia	0.6mm	Rendijas Soller Primario	2.5°	Muestreo	0.01526° 2theta	Rango de Medición	3.5-70° 2theta	Radiación	CuK α 1	Filtro	Níquel	Detector	Lineal LynxEye	Tipo de barrido	A pasos	Tiempo de muestreo	0.4 segundos
Voltaje	40(kV)																						
Corriente	30(mA)																						
Rendija de Divergencia	0.6mm																						
Rendijas Soller Primario	2.5°																						
Muestreo	0.01526° 2theta																						
Rango de Medición	3.5-70° 2theta																						
Radiación	CuK α 1																						
Filtro	Níquel																						
Detector	Lineal LynxEye																						
Tipo de barrido	A pasos																						
Tiempo de muestreo	0.4 segundos																						
Tratamiento de las muestras	Químico ☐ Térmico ☐ Ninguno ☒																						

TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS			
Fecha Toma de Datos	03/06/2014	Fecha Análisis de Resultados	---
Tipo de Muestra	Minerales	Fecha de Recepción de la Muestra	20/05/2014

Universidad industrial de Santander, Km. 2 Vía al Refugio Sede UIS-Guatiguará, Edificio de Investigaciones, Laboratorio de Rayos-X, Laboratorio 104, Piedecuesta, Santander, PBX 6344000 Ext. 3512
Apartado Aereo N°678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890.201.213-4
Página 1 de 2

 	LABORATORIO DE RAYOS-X	Código: F-LRX-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 1 Página 2 de 2

Observaciones:

- Los resultados se relacionan únicamente a las muestras analizadas.
- Si desea expresar su percepción con respecto al presente servicio o ensayo, hágalo por medio del correo electrónico rayosx@uis.edu.co o al PBX: 6344000 Ext. 3512.
- No se debe reproducir el informe de ensayo excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Elaboró:

Revisó:

Oco. MSc. José Luis Pinto Camargo
Profesional Analista
PQ. 2009

Dr. José Antonio Henao Martínez
Director Laboratorio
PQ. 0321

Iodo de flocculador.csm

Crystallographica Search-Match Version 3, 1, 0, 2

Copyright © 1996-2011, Oxford Cryosystems

Report Compiled at 08:56 Tuesday, June 17, 2014

Search-Match

Settings

Search Range	3.5 to 70.0083
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	Yes

Matched Materials

A Quartz

Formula	Si O ₂
Pdf Number	010-75-0443
Figure of Merit	70%
Total Peaks	18
Peaks Matched	14
New Matches	14
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.594104
Concentration	0.103042
I / Icorundum	3.04

B Muscovite-2M1, ferrian

Formula	K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.86} Fe _{0.14} Mg _{0.02} (Al _{0.97} Si _{3.03} O ₁₀) (O H) _{1.91} F _{0.09}
Pdf Number	010-73-9860
Figure of Merit	23%
Total Peaks	167
Peaks Matched	47
New Matches	47
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.146244
Concentration	0.00325401
I / Icorundum	0.39

C Kaolinite-1A

Formula	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
Pdf Number	010-78-1996
Figure of Merit	23%
Total Peaks	132
Peaks Matched	44
New Matches	44

Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.149693
Concentration	0.00845501
I / Icorundum	0.99

D Halloysite-7A

Formula	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$
Pdf Number	000-29-1487
Figure of Merit	22%
Total Peaks	7
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0977664
Concentration	Not available

E Albite, calcian, ordered

Formula	$(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Al} (\text{Si}, \text{Al})_3 \text{O}_8$
Pdf Number	000-41-1480
Figure of Merit	16%
Total Peaks	63
Peaks Matched	22
New Matches	22
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0680336
Concentration	0.00411439
I / Icorundum	1.06

F Orthoclase

Formula	$\text{K Si}_3 \text{Al O}_8$
Pdf Number	010-71-1540
Figure of Merit	12%
Total Peaks	144
Peaks Matched	35
New Matches	35
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.040313
Concentration	0.00170198
I / Icorundum	0.74

G Gibbsite

Formula	$\text{Al} (\text{OH})_3$
Pdf Number	010-74-1775
Figure of Merit	9%
Total Peaks	131
Peaks Matched	29
New Matches	29
Strong Unmatched	0

Peak Shift	0
Scale Factor	0.0660145
Concentration	0.00749495
I / Icorundum	1.99

H Koninckite

Formula	(Fe , Al) P O ₄ · ₃ H ₂ O
Pdf Number	000-22-0339
Figure of Merit	12%
Total Peaks	37
Peaks Matched	12
New Matches	12
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0444954
Concentration	Not available

I Vermiculite-2M

Formula	(Mg _{2.36} Fe _{0.48} Al _{0.16}) Mg _{0.32} (Al _{1.28} Si _{2.72}) O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) _{4.32} Mg _{0.32}
Pdf Number	010-77-0022
Figure of Merit	4%
Total Peaks	199
Peaks Matched	40
New Matches	40
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.60536
Concentration	0.871938
I / Icorundum	9.52

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	28 / 29

List of Peaks

2-Theta	D-Spacing	Intensity	Width	Confidence	Matches
8.846	9.9882	1698	0.087	100%	B
10.489	8.4270	359	0.080	100%	H
12.258	7.2145	249	0.103	99.2%	I
17.764	4.9890	453	0.084	100%	BH
18.327	4.8370	304	0.085	100%	G
19.880	4.4624	571	0.099	100%	BCHI
20.863	4.2544	968	0.081	100%	AI
22.029	4.0318	283	0.086	100%	EG
24.310	3.6584	183	0.086	99.2%	E
24.858	3.5789	137	0.091	92.9%	BCI
26.651	3.3421	5089	0.083	100%	AB
27.491	3.2419	309	0.093	100%	F
27.777	3.2092	186	0.075	97.2%	
27.966	3.1879	497	0.087	100%	BEGH
29.878	2.9881	185	0.088	99.9%	BEFHI

30.474	2.9310	99	0.077	93.5%	EF
34.979	2.5631	303	0.111	100%	BCDFH
36.564	2.4556	263	0.087	100%	ABG
39.488	2.2802	145	0.103	98.0%	A
40.311	2.2355	116	0.086	97.7%	ABCFG
42.447	2.1279	167	0.081	99.9%	ABCI
45.351	1.9981	108	0.092	90.0%	BCEGI
50.124	1.8185	437	0.078	100%	AI
54.860	1.6722	158	0.071	99.6%	ABCFHI
55.312	1.6596	85	0.072	90.3%	ABCEFG
59.933	1.5422	239	0.077	100%	ABG
67.724	1.3825	164	0.078	100%	ABEFG
68.136	1.3751	149	0.070	99.8%	ABCF
68.326	1.3717	146	0.070	99.7%	ABF

Card Retrieval
Restrictions

Sub-Files

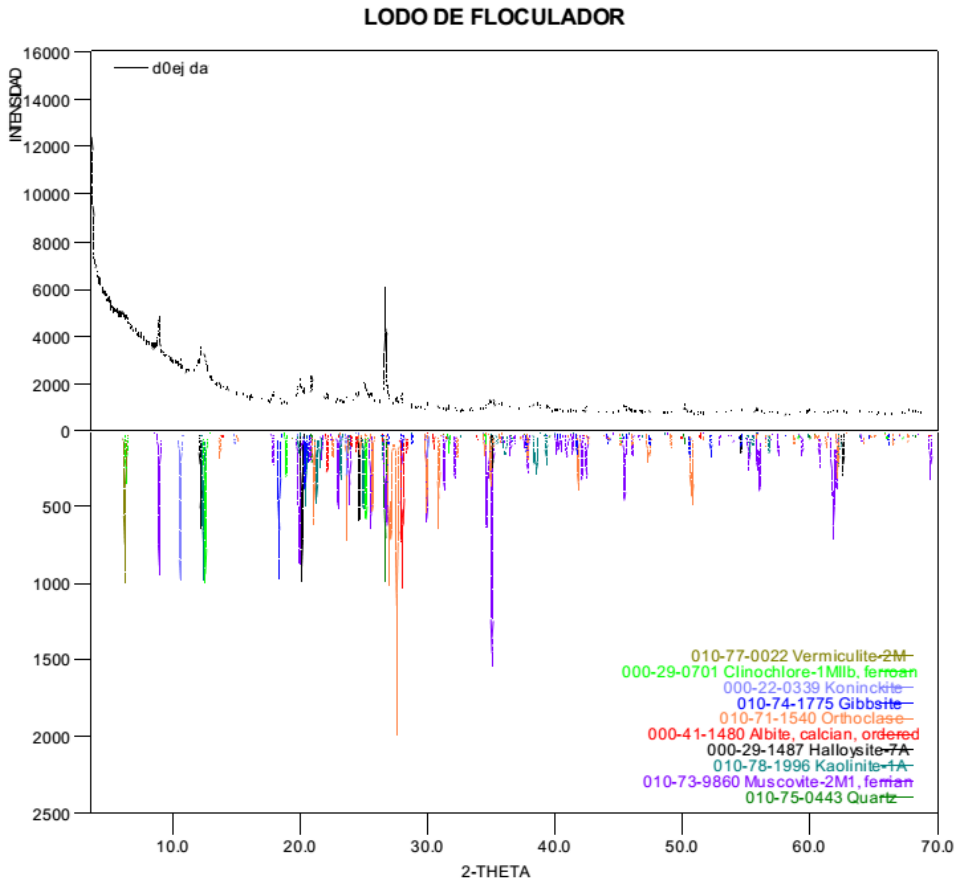
The sub-file must be one of:

- Minerals

Search Results

The search found 27901 matching cards.

Graphics



This is the end of the template file

ANEXO C. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES		Código		FO-GA-06 /v 0	
	RESULTADO DE ANÁLISIS		No,		SA 013 -	

FECHA _____		No, ORDEN DE SERVICIO _____	
INTERESADO _____		DIRECCIÓN _____	
CÉDULA/ NIT _____	TELÉFONO _____	CÓDIGO DE LA MUESTRA _____	ROCA _____

NORMA ICONTEC No,	1527	No, de Ensayos:	de
-------------------	------	-----------------	----

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

PROYECTO			
MUESTRA	82	Velocidad	0,1 mm/min
Ho (mm):	36,84	Ao cm ²	14,66
Diametro (mm):	43,20	Volumen en cm ³	54,00
Peso de la muestra grs	92,04	Peso unit, gr/cm ³	1,70
carga en kg	3256,78	carga axial en kg	3256,78
Carga en KN	31,94	esfuerzo en kg/cm ²	216,70

DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,657	0,0000	0,00	0,00
0,05	2,00	203,94	14,677	0,0014	0,14	13,90
0,10	4,00	407,89	14,697	0,0027	0,27	27,75
0,15	6,00	611,83	14,717	0,0041	0,41	41,57
0,19	8,00	815,78	14,733	0,0052	0,52	55,37
0,23	10,00	1019,72	14,748	0,0062	0,62	69,14
0,27	12,00	1223,66	14,766	0,0073	0,73	82,87
0,32	14,00	1427,61	14,786	0,0087	0,87	96,55
0,35	16,00	1631,55	14,798	0,0095	0,95	110,26
0,38	18,00	1835,50	14,810	0,0103	1,03	123,94
0,42	20,00	2039,44	14,826	0,0114	1,14	137,56
0,46	22,00	2243,38	14,843	0,0125	1,25	151,14
0,48	23,00	2345,36	14,851	0,0130	1,30	157,93
0,50	24,00	2447,33	14,859	0,0136	1,36	164,70
0,53	25,00	2549,30	14,871	0,0144	1,44	171,43
0,58	26,00	2651,27	14,892	0,0157	1,57	178,04
0,67	27,00	2753,24	14,929	0,0182	1,82	184,43
0,71	28,00	2855,22	14,945	0,0193	1,93	191,05
0,74	29,00	2957,19	14,958	0,0201	2,01	197,70
0,76	30,00	3059,16	14,966	0,0206	2,06	204,41
0,91	31,94	3256,78	15,029	0,0247	2,47	216,70
0,92	31,13	3174,80	15,033	0,0250	2,50	211,19
0,92	27,22	2775,47	15,033	0,0250	2,50	184,63

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACIÓN SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE

2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 / v 0

No,

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

82

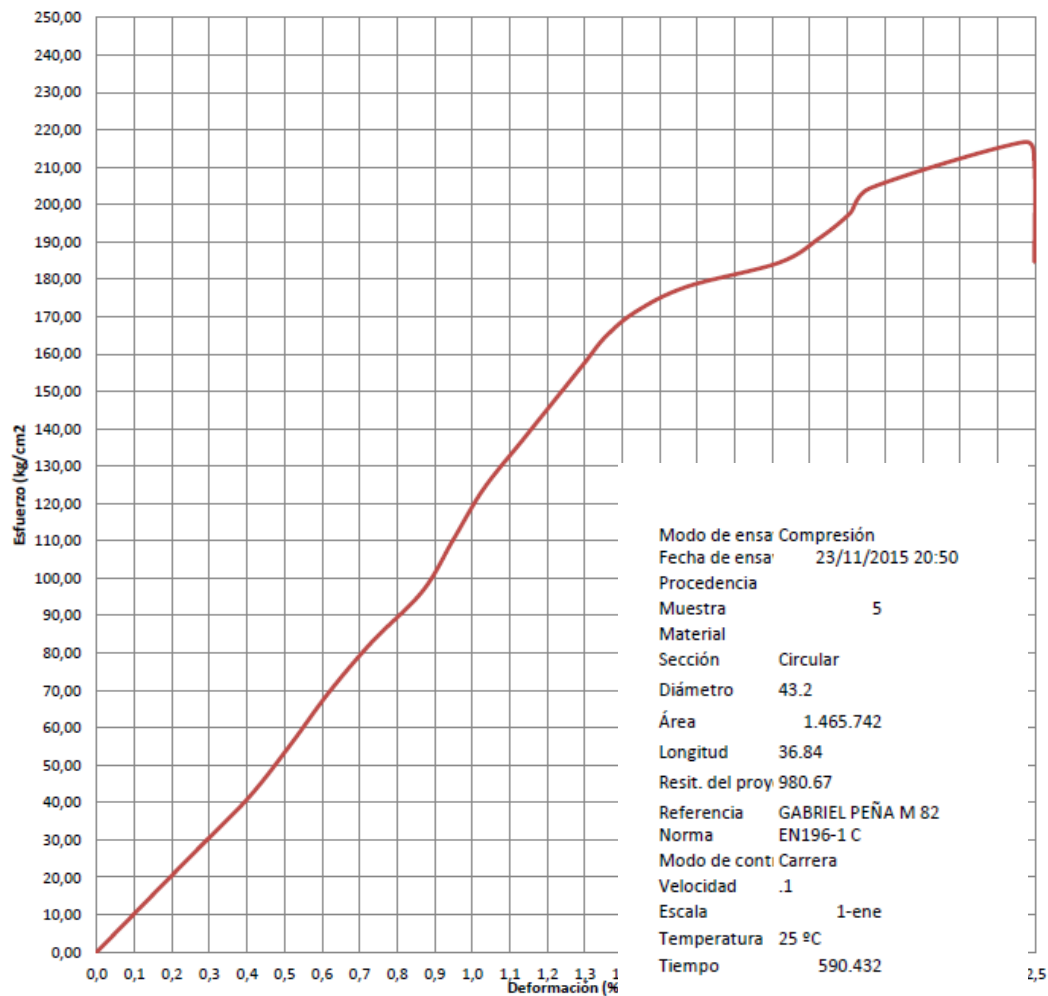
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
RESULTADO DE ANÁLISIS

Código FO-GA-06 / v 0
No, SA 013 -

FECHA _____ No, ORDEN DE SERVICIO _____
INTERESADO _____ DIRECCIÓN _____
CÉDULA/ NIT _____ TELÉFONO _____ CÓDIGO DE LA MUESTRA _____ ROCA _____

NORMA ICONTEC No, 1527 No, de Ensayos: de

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

PROYECTO						
MUESTRA	0-1000			Velocidad	0,1	mm/min
Ho (mm):	53,68	Ao cm ²		14,49		
Diametro (mm):	42,95	Volumen en cm ³		77,77		
Peso de la muestra grs	82,80	Peso unit, gr/cm ³		1,06		
carga en kg	325,49	carga axial en kg		325,49		
Carga en KN	3,19	esfuerzo en kg/cm ²		22,28		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,488	0,0000	0,00	0,00
0,01	0,20	20,39	14,491	0,0002	0,02	1,41
0,04	0,40	40,79	14,499	0,0007	0,07	2,81
0,07	0,60	61,18	14,507	0,0013	0,13	4,22
0,09	0,80	81,58	14,513	0,0017	0,17	5,62
0,12	1,00	101,97	14,520	0,0022	0,22	7,02
0,14	1,20	122,37	14,525	0,0025	0,25	8,42
0,16	1,40	142,76	14,532	0,0030	0,30	9,82
0,18	1,60	163,16	14,537	0,0033	0,33	11,22
0,19	1,80	183,55	14,540	0,0035	0,35	12,62
0,22	2,00	203,94	14,548	0,0041	0,41	14,02
0,26	2,20	224,34	14,559	0,0048	0,48	15,41
0,29	2,40	244,73	14,567	0,0054	0,54	16,80
0,30	2,50	254,93	14,570	0,0056	0,56	17,50
0,32	2,60	265,13	14,575	0,0060	0,60	18,19
0,33	2,70	275,32	14,578	0,0061	0,61	18,89
0,35	2,80	285,52	14,583	0,0065	0,65	19,58
0,37	2,90	295,72	14,589	0,0069	0,69	20,27
0,39	3,00	305,92	14,594	0,0073	0,73	20,96
0,44	3,19	325,49	14,608	0,0082	0,82	22,28
0,49	3,03	308,57	14,622	0,0091	0,91	21,10
0,58	2,75	280,42	14,647	0,0108	1,08	19,15
0,66	2,39	243,71	14,669	0,0123	1,23	16,61

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

- 1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACIÓN SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE
- 2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 / v 0

No,

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

0-1000

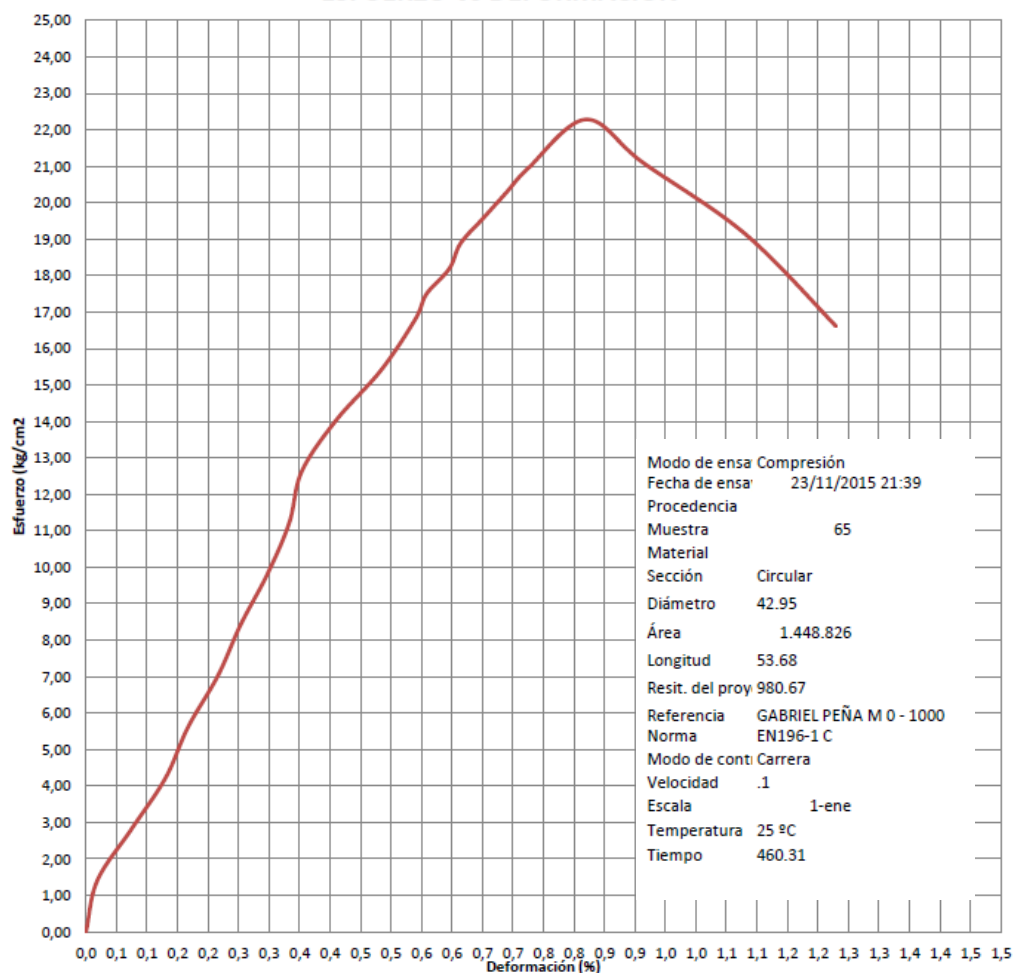
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales

FECHA	_____	No. ORDEN DE SERVICIO	_____
INTERESADO	_____	DIRECCIÓN	_____
CÉDULA/ NIT	_____	CÓDIGO DE LA MUESTRA	_____
TELÉFONO	_____	ROCA	_____

NORMA ICONTEC No,	1527	No, de Ensayos:		de	
-------------------	------	-----------------	--	----	--

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

[illegible]

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

2. FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
RESULTADO DE ANÁLISIS

Código
No, SA 013 -

FO-GA-06 /v 0
0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

0-1250

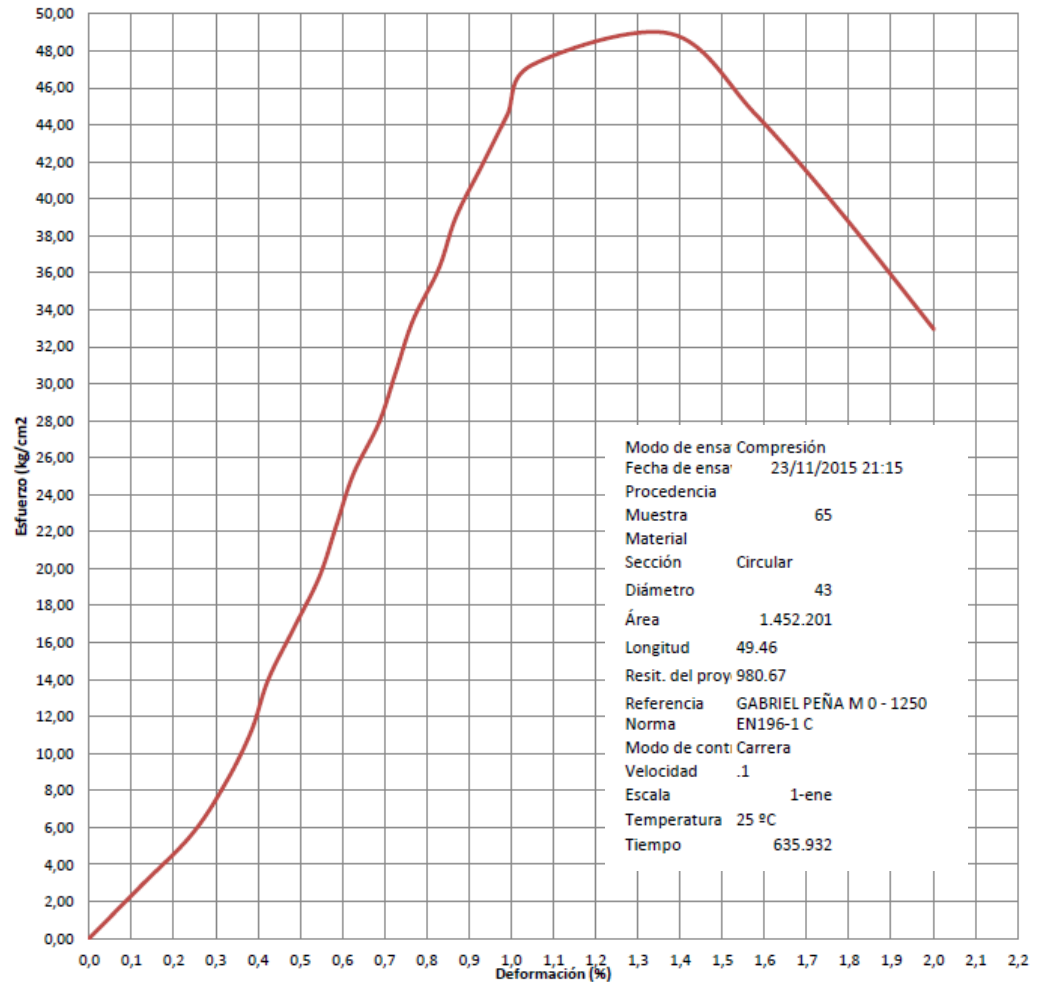
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES <i>RESULTADO DE ANÁLISIS</i>	Código		FO-GA-06 /v 0
	No.	SA 013 -	

FECHA _____		No, ORDEN DE SERVICIO _____	
INTERESADO _____		DIRECCIÓN _____	
CÉDULA/ NIT _____	TELÉFONO _____	CÓDIGO DE LA MUESTRA _____	ROCA _____
NORMA ICONTEC No, _____	1527	No, de Ensayos: _____	de _____
ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA			

PROYECTO						
MUESTRA		64		Velocidad	0,1 mm/min	
Ho (mm):		40,70	Ao cm ²			14,15
Diametro (mm):		42,44	Volumen en cm3			57,58
Peso de la muestra grs		83,71	Peso unit, gr/cm3			1,45
carga en kg		8782338,50	carga axial en kg			8782338,50
Carga en KN		86125,00	esfuerzo en kg/cm2			# VALOR!
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,146	0,0000	0,00	0,00
0,00	0,50	50,99	14,146	0,0000	0,00	3,60
0,00	1,00	101,97	14,146	0,0000	0,00	7,21
9991,77	1,50	152,96	-0,058	245,4980	24549,80	-2643,66
19983,53	2,00	203,94	-0,029	490,9958	49099,58	-7064,18
19983,53	2,50	254,93	-0,029	490,9958	49099,58	-8830,22
39967,07	3,00	305,92	-0,014	981,9919	98199,19	-21214,17
49958,83	3,50	356,90	-0,012	1227,4897	122748,97	-30943,63
0,06	4,00	407,89	14,167	0,0015	0,15	28,79
0,09	5,00	509,86	14,178	0,0022	0,22	35,96
0,11	6,00	611,83	14,186	0,0028	0,28	43,13
0,14	7,00	713,80	14,195	0,0034	0,34	50,29
0,16	8,00	815,78	14,204	0,0040	0,40	57,43
0,19	9,00	917,75	14,213	0,0047	0,47	64,57
0,22	10,00	1019,72	14,223	0,0054	0,54	71,69
0,25	11,00	1121,69	14,234	0,0061	0,61	78,81
0,28	12,00	1223,66	14,244	0,0069	0,69	85,91
0,31	13,00	1325,64	14,255	0,0076	0,76	93,00
0,34	14,00	1427,61	14,265	0,0083	0,83	100,08
0,41	15,00	1529,58	14,290	0,0101	1,01	107,04
0,00	16909,00	1724244,55	14,146	0,0000	0,00	121886,95
16.909,00	86125,00	8782338,50	-0,034	415,4545	41545,45	-257303344,82
		0,00	# VALOR!			# VALOR!

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

- 1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACIÓN SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE
2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 / v 0

No,

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

64

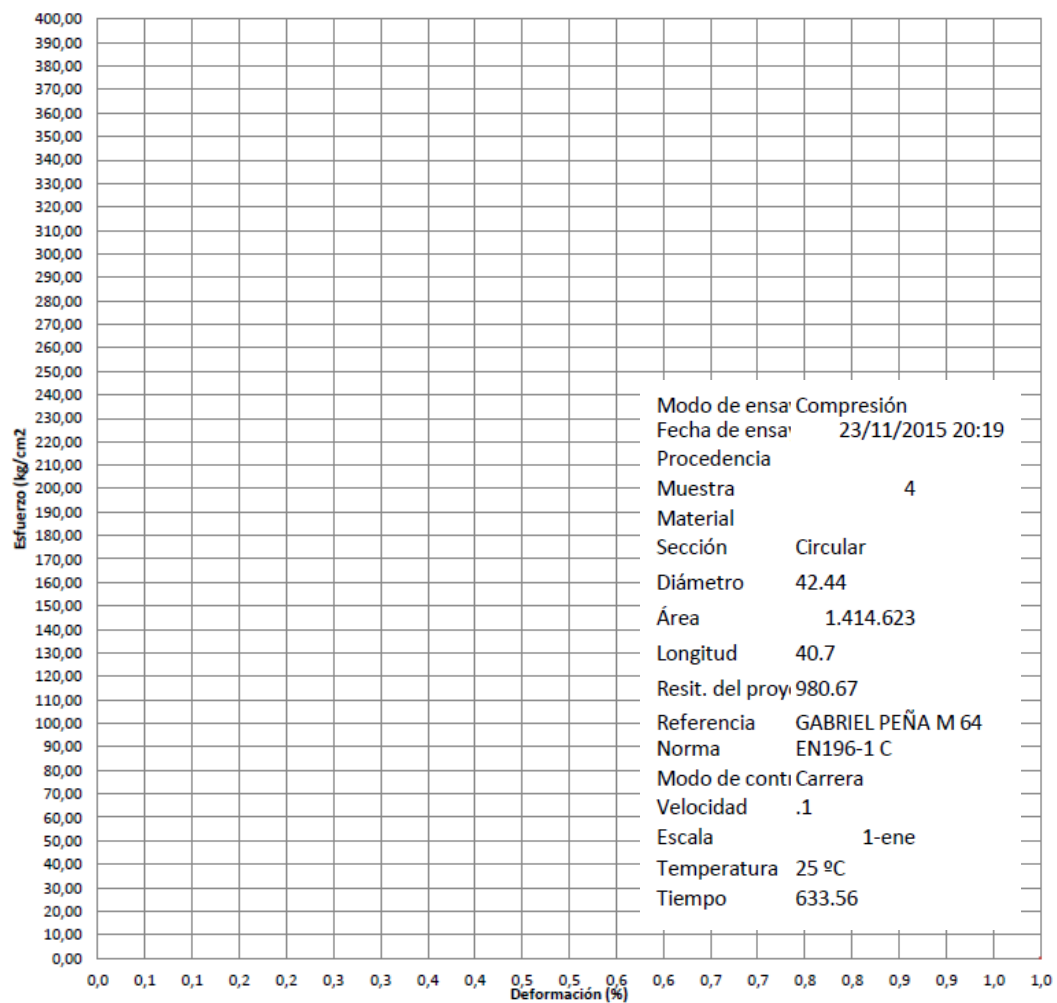
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
RESULTADO DE ANÁLISIS

Código FO-GA-06 / v 0
No, **SA 013 -**

FECHA	No, ORDEN DE SERVICIO		
INTERESADO	DIRECCIÓN		
CÉDULA/ NIT	TELÉFONO	CÓDIGO DE LA MUESTRA	ROCA
NORMA ICONTEC No,	1527	No, de Ensayos:	de

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

PROYECTO						
MUESTRA		73		Velocidad	0,1	mm/min
Ho (mm):		38,31	Ao cm ²			14,80
Diametro (mm):		43,41	Volumen en cm3			56,70
Peso de la muestra grs		91,10	Peso unit, gr/cm3			1,61
carga en kg		3335,20	carga axial en kg			3335,20
Carga en KN		32,71	esfuerzo en kg/cm2			221,41
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,800	0,0000	0,00	0,00
0,04	2,00	203,94	14,816	0,0010	0,10	13,77
0,08	4,00	407,89	14,831	0,0021	0,21	27,50
0,12	6,00	611,83	14,847	0,0031	0,31	41,21
0,15	8,00	815,78	14,858	0,0039	0,39	54,90
0,19	10,00	1019,72	14,874	0,0050	0,50	68,56
0,22	12,00	1223,66	14,886	0,0057	0,57	82,20
0,25	14,00	1427,61	14,897	0,0065	0,65	95,83
0,29	16,00	1631,55	14,913	0,0076	0,76	109,40
0,32	18,00	1835,50	14,924	0,0083	0,83	122,99
0,35	20,00	2039,44	14,937	0,0091	0,91	136,54
0,38	22,00	2243,38	14,948	0,0099	0,99	150,07
0,41	24,00	2447,33	14,961	0,0107	1,07	163,58
0,45	26,00	2651,27	14,976	0,0117	1,17	177,03
0,47	27,00	2753,24	14,984	0,0123	1,23	183,75
0,49	28,00	2855,22	14,992	0,0128	1,28	190,45
0,51	29,00	2957,19	15,000	0,0133	1,33	197,15
0,54	30,00	3059,16	15,011	0,0141	1,41	203,79
0,57	31,00	3161,13	15,024	0,0149	1,49	210,41
0,63	32,00	3263,10	15,046	0,0163	1,63	216,88
0,67	32,71	3335,20	15,064	0,0175	1,75	221,41
0,70	32,26	3289,51	15,076	0,0183	1,83	218,20
0,74	29,49	3007,15	15,092	0,0193	1,93	199,26
0,86	21,86	2229,11	15,140	0,0224	2,24	147,23

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

- 1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACIÓN SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE
- 2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 /v 0

No.

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs. DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

73

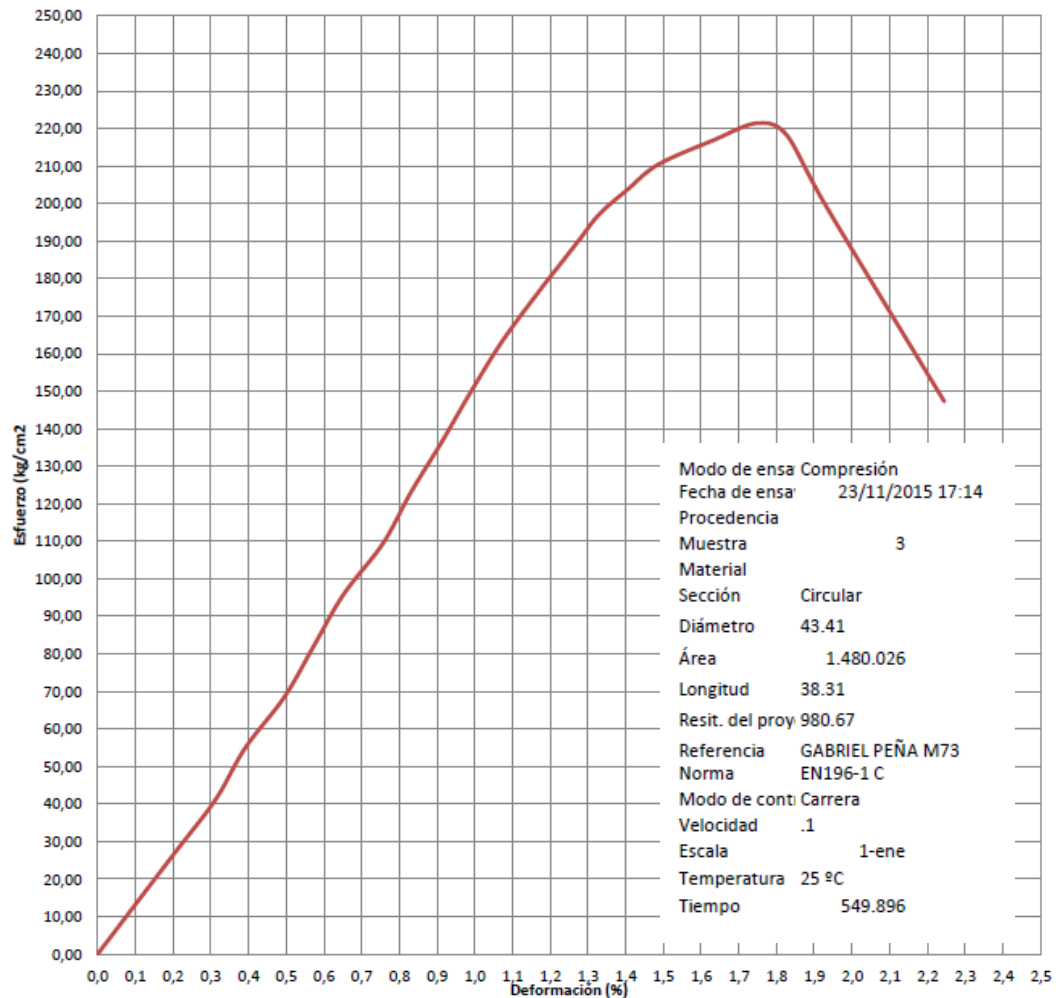
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
RESULTADO DE ANÁLISIS

Código FO-GA-06 /v 0
No, **SA 013 -**

FECHA _____ No, ORDEN DE SERVICIO _____
INTERESADO _____ DIRECCIÓN _____
CÉDULA/ NIT _____ TELÉFONO _____ CÓDIGO DE LA MUESTRA _____ ROCA _____

NORMA ICONTEC No, 1527 No, de Ensayos: _____ de _____
ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

PROYECTO						
MUESTRA						
91			Velocidad	0,1	mm/min	
Ho (mm):	36,33	Ao cm ²			14,52	
Diametro (mm):	42,99	Volumen en cm3			52,73	
Peso de la muestra grs	92,40	Peso unit, gr/cm3			1,75	
carga en kg	2834,31	carga axial en kg			2834,31	
Carga en KN	27,80	esfuerzo en kg/cm2			191,61	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,515	0,0000	0,00	0,00
0,01	1,50	152,96	14,518	0,0002	0,02	10,54
0,02	3,00	305,92	14,523	0,0006	0,06	21,06
0,05	4,50	458,87	14,536	0,0014	0,14	31,57
0,08	6,00	611,83	14,547	0,0022	0,22	42,06
0,10	7,50	764,79	14,555	0,0028	0,28	52,54
0,13	9,00	917,75	14,567	0,0036	0,36	63,00
0,15	10,50	1070,71	14,575	0,0041	0,41	73,46
0,17	12,00	1223,66	14,585	0,0048	0,48	83,90
0,20	13,50	1376,62	14,596	0,0055	0,55	94,32
0,22	15,00	1529,58	14,604	0,0061	0,61	104,74
0,26	17,50	1784,51	14,620	0,0072	0,72	122,06
0,29	19,00	1937,47	14,632	0,0080	0,80	132,41
0,31	20,50	2090,43	14,640	0,0085	0,85	142,79
0,37	22,00	2243,38	14,665	0,0102	1,02	152,98
0,40	23,50	2396,34	14,677	0,0110	1,10	163,27
0,43	25,00	2549,30	14,689	0,0118	1,18	173,55
0,48	26,50	2702,26	14,709	0,0132	1,32	183,71
0,50	27,00	2753,24	14,718	0,0138	1,38	187,07
0,67	27,50	2804,23	14,788	0,0184	1,84	189,63
0,68	27,80	2834,31	14,792	0,0187	1,87	191,61
0,75	26,65	2717,25	14,821	0,0206	2,06	183,33
0,80	25,69	2619,15	14,842	0,0220	2,20	176,47
0,88	22,56	2300,28	14,876	0,0242	2,42	154,63
0,94	18,71	1907,90	14,901	0,0259	2,59	128,04

ORIGINAL

OBSERVACIONES:
1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACIÓN SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE
2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

JESUS ACEVEDO PAEZ
Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 /v 0

No,

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

91

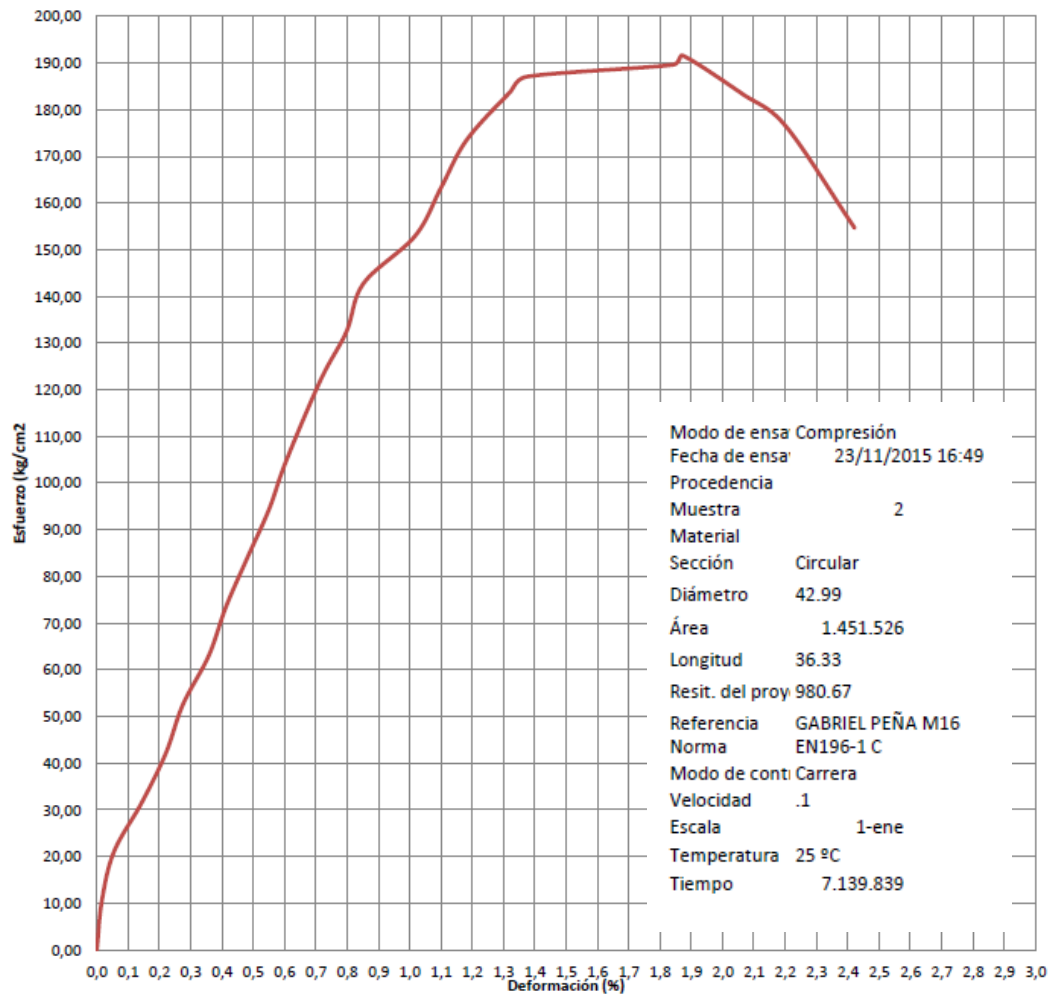
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 /v 0

No,

SA 013 -

FECHA				No, ORDEN DE SERVICIO			
INTERESADO				DIRECCIÓN			
CÉDULA/ NIT	TELÉFONO		CÓDIGO DE LA MUESTRA		ROCA		

NORMA ICONTEC No,

1527

No, de Ensayos:

de

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

PROYECTO						
MUESTRA						
	10			Velocidad	0,1	mm/min
Ho (mm):	33,51	Ao cm ²				14,36
Diametro (mm):	42,76	Volumen en cm ³				48,12
Peso de la muestra grs	89,26	Peso unit, gr/cm ³				1,85
carga en kg	4919,54	carga axial en kg				4919,54
Carga en KN	48,24	esfuerzo en kg/cm ²				336,65
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA KN	CARGA AXIAL (Kg)	AREA CORREGIDA (cm ²)	ε	ε (%)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0,00	0	14,360	0,0000	0,00	0,00
0,02	2,00	203,94	14,369	0,0006	0,06	14,19
0,06	4,00	407,89	14,386	0,0018	0,18	28,35
0,09	6,00	611,83	14,399	0,0027	0,27	42,49
0,12	8,00	815,78	14,412	0,0036	0,36	56,60
0,15	10,00	1019,72	14,425	0,0045	0,45	70,69
0,17	12,00	1223,66	14,434	0,0051	0,51	84,78
0,20	14,00	1427,61	14,447	0,0060	0,60	98,82
0,22	16,00	1631,55	14,455	0,0066	0,66	112,87
0,24	18,00	1835,50	14,464	0,0072	0,72	126,90
0,26	20,00	2039,44	14,473	0,0078	0,78	140,92
0,30	23,00	2345,36	14,490	0,0089	0,89	161,86
0,33	26,00	2651,27	14,503	0,0098	0,98	182,81
0,36	29,00	2957,19	14,516	0,0107	1,07	203,72
0,39	32,00	3263,10	14,529	0,0116	1,16	224,59
0,42	35,00	3569,02	14,543	0,0125	1,25	245,42
0,45	38,00	3874,94	14,556	0,0134	1,34	266,21
0,48	41,00	4180,85	14,569	0,0143	1,43	286,97
0,52	44,00	4486,77	14,587	0,0155	1,55	307,60
0,56	47,00	4792,68	14,604	0,0167	1,67	328,17
0,58	48,24	4919,54	14,613	0,0173	1,73	336,65
0,61	47,11	4803,90	14,627	0,0182	1,82	328,43
0,62	44,29	4516,34	14,631	0,0185	1,85	308,68
0,63	39,79	4057,47	14,636	0,0188	1,88	277,23
0,65	29,64	3022,45	14,644	0,0194	1,94	206,39

ORIGINAL

OBSERVACIONES:

- 1, LAS MUESTRAS Y LA INFORMACION SON SUMINISTRADAS POR: EL CLIENTE
- 2, FECHA DE CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA IBERTEST : 12 DE MAYO 2014

E JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESULTADO DE ANÁLISIS

Código

FO-GA-06 /v 0

No,

SA 013 -

0

GRÁFICA ESFUERZO Vs, DEFORMACIÓN Y CÍRCULO DE MOHR

LOCALIZACIÓN :

0

MUESTRA

10

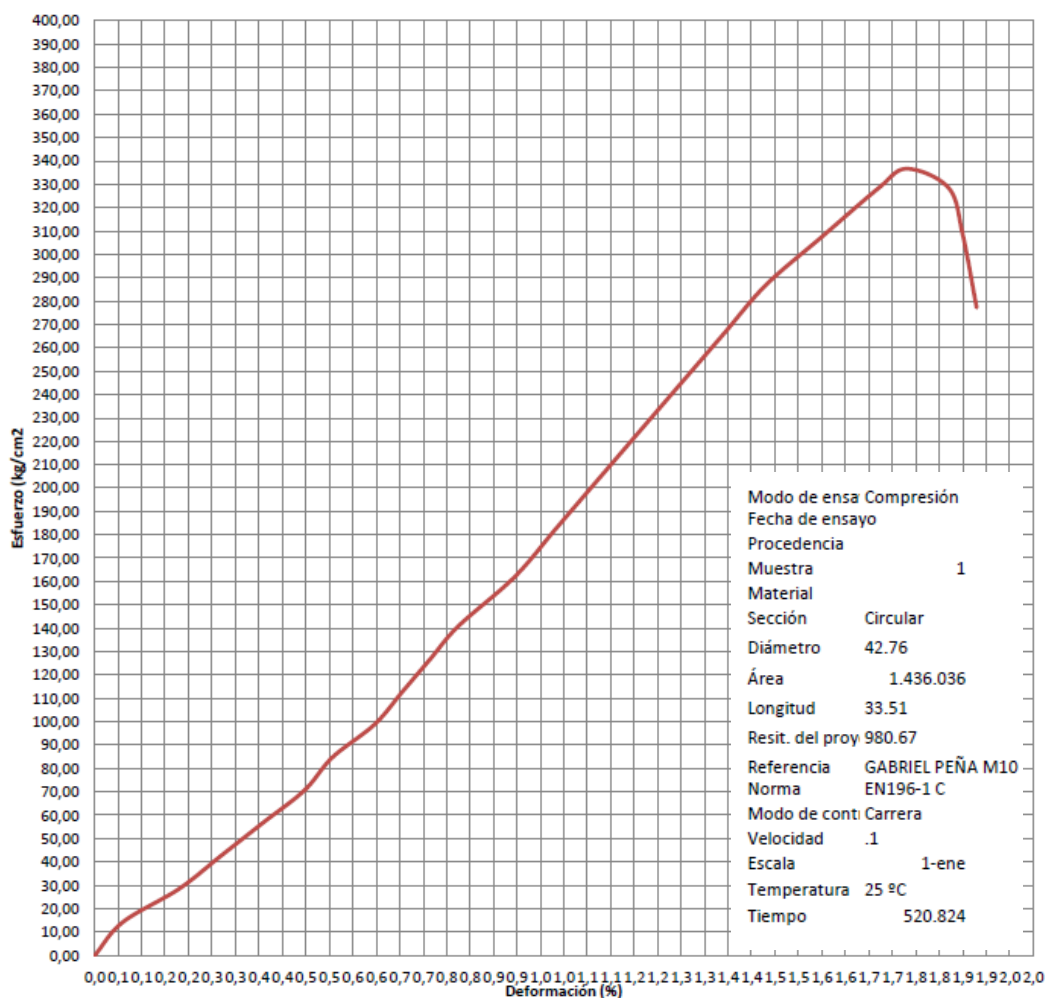
MUESTRA

0

0,1

mm/min

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



JESUS ACEVEDO PAEZ

Analista - Asistente Laboratorio Resistencia de Materiales