

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE
CONCRETOS CONVENCIONALES DE 3000 PSI, AL REMPLAZAR EN 5%, 10%,
20% Y 30 % DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR AGREGADOS DE LODOS
DE PAPEL

DE LA ESPRIELLA CRUZ GUSTAVO A.



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C.

2014

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE
CONCRETOS CONVENCIONALES DE 3000 PSI, AL REMPLAZAR EN 5%, 10%,
20% Y 30 % DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR AGREGADOS DE LODOS
DE PAPEL

DE LA ESPRIELLA CRUZ GUSTAVO A.

TRABAJO DE GRADO presentado como requisito parcial para optar el título de:

Ingeniero Civil

Director: I.C. Mateo Gutiérrez González

Profesor de planta en la facultad de ingeniería civil de la Universidad La Gran Colombia

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C.

15 de junio de 2014

Tabla de contenido

1. INTRODUCCION	3
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	4
3. JUSTIFICACION	5
4. OBJETIVOS	7
Objetivo general:	7
Objetivos específicos:	7
5. MARCO REFERENCIAL.....	8
5.1. Antecedentes.....	8
5.2. Marco teórico.....	10
5.2.1. Problema nacional:	11
5.2.2 Problemática internacional:	11
5.2.3 Agregados convencionales.....	12
5.2.4 Construcción en liviano.....	12
5.3. Marco legal y normativo.	14
5.4. Marco conceptual.....	15
6. DISEÑO METODOLOGICO	19
6.1. Hipótesis:.....	24
6.2. Universo o población.....	24
6.4. Instrumentos	24
7. RESULTADOS Y DISCUSION	26
8. CONCLUSIONES.....	31
9. BIBLIOGRAFIA	32

1. INTRODUCCION

En el siguiente trabajo, se plantea la necesidad de una adecuada disposición final de los lodos papeleros, residuo industrial altamente tóxico. Se explicará las implicaciones de la extracción de agregados pétreos y las afectaciones al ambiente debido a esta práctica.

Con el fin de solucionar el problema de la disposición final de los residuos de las industrias de papel y reducir la explotación de agregados gruesos en canteras y ríos, se plantea una propuesta para el uso de estos desechos en la elaboración de agregados para concretos convencionales. Además se mostrarán resultados de estudios hechos anteriormente. Dado el alto contenido de materia orgánica y carbonato cálcico en presencia de diferentes materiales arcillosos, como el talco y la caolinita, las condiciones de calcinación presentan un papel principal en la mineralogía de este lodo.

“La extracción de agregados pétreos es una actividad que puede generar rechazo, más aún cuando existe el precedente de explotaciones ilegales con efectos ambientales muy negativos. Por esta razón los Planes de Ordenamiento Territorial municipales limitan en forma considerable las zonas en que se puede desarrollar esta actividad, obligando a que la explotación se aleje cada vez más de los centros de consumo.”¹

Para la elaboración y reciclado de papel, las industrias usan como principales materias primas fibras de madera y papel reciclado, cargas, gomas, pegantes y colorantes. La industria papelera utiliza en la fabricación de sus productos materias primas, que son fibras de madera y papel reciclado, cargas, gomas, pegantes en altas concentraciones, antes de ser vertidas en un cauce natural o bien se reincorporen al proceso de reciclado, estas deben ser tratadas para mitigar el impacto que puedan generar los diferentes materiales que componen esta agua blanca, como son materiales celulosicos, arcillas, materiales humicos, algunos productos quimicos de la coagulacion y micro-organismos. Después de terminar el tratamiento, es pasado por un sistema de filtro-prensa. Finalmente el lodo queda con una humedad cercana al 40%.²

A continuación, se abordara el tema desde el aspecto técnico, en términos de resistencia del concreto a compresión y se hará un análisis superficial de las ventajas ambientales. Para esto se tomarán en cuenta los anteriores trabajos realizados sobre el tema y una serie de pruebas de resistencia, caracterización y estudio sobre los agregados.

¹ RAMIREZ R. M. Isabel. 2008. Sostenibilidad De La Explotación De Materiales De Construcción En El Valle De Aburrá. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 10 p.

²QUINCHIA Adriana, VALENCIA Marco, GIRALDO Jorge. 2007. Uso De Lodos Provenientes De La Industria Papelera En La Elaboración De Paneles Prefabricados Para La Construcción. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). 10 p.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Dado el riesgo ambiental, generado por los desechos industriales y la sobre demanda de materiales para la construcción; se plantea la elaboración de agregados a partir de lodos residuales de las industrias papeleras, para remplazarlo por parte de los agregados pétreos, provenientes de canteras; en concretos convencionales de 3000 psi de resistencia a la edad de 28 días.

Para dicho estudio se evaluara la resistencia en 3 edades distintas, con 4 dosificaciones diferentes de inclusión de lodo de papel; para determinar el porcentaje óptimo de agregados de lodo y agregados pétreos.

Basados en lo anterior, se plantea el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es la variación de la resistencia a la compresión inconfiada de concretos convencionales de 3000 psi, al remplazar en 5%, 10%, 20% y 30 % de los agregados gruesos por agregados de lodos de papel?

3. JUSTIFICACION

En la actualidad, debido al consumismo y destrucción acelerada del ambiente, se ha venido planteando opciones de producir energía renovable, usar materiales reciclados, mitigar los impactos causados a la flora y fauna, cuidar las fuentes hídricas naturales y el suelo mismo. El uso de agregados en la actualidad, después del agua, se ha convertido en el segundo elemento de consumo en la sociedad actual, con aproximadamente 9.5 toneladas/habitantes/año. En el presente estudio, se presenta una forma de usar residuos industriales, en este caso el lodo de papel (paper sludge) con el fin de remplazar una cierta cantidad de agregado grueso, reduciendo el uso de agregados naturales usados en concretos convencionales. De esta manera se ayuda a mitigar el impacto causado por la extracción de agregados gruesos.

“Un estudio hecho por la CEPAL proyecta que Bogotá crece a razón de 158 mil habitantes por año, expandiéndose en 538 hectáreas por año. Usando los estimativos del POT y la historia de construcción de la ciudad, el estudio proyecta una construcción cercana a los 4 millones de metros cuadrados por año hasta 2008 y estima que se construirán 31 km de vías cada año, 160 mil metros de acueducto y alcantarillado y 251 mil metros cuadrados de edificaciones de recreación y deporte en promedio. Estas cantidades resultan en una demanda del orden de 6 millones de metros cúbicos de materiales de construcción por año.”

Debido a ciertas políticas (Código De Minas Y Energía; y la ley 1382 de 2010) que han restringido la actividad minera de agregados pétreos, se ha venido incrementando el costo de los mismos, debido a costos directos como el precio del material, hasta los indirectos como son de transporte; siendo este último un factor bastante influyente en el precio final de los agregados pétreos. Al realizar esta práctica cerca de ríos, se tiene el riesgo de provocar un desbordamiento del cauce natural. Cuando es practicada en canteras rocosas, además de la destrucción paisajística, se producen derrumbes y deslizamientos.

Los daños ambientales producidos por esta práctica son poco mitigables, entre los más relevantes y críticos se encuentran:

Pérdida de la cobertura vegetal: debido a la remoción de la vegetación, afectando de esta manera la flora y fauna del sector, por ende la biodiversidad en general.

Erosión: los suelos intervenidos para extracción de agregados pétreos, son modificados de su estado natural, de este modo se acelera el proceso natural de desgaste normal de los suelos; presentando erosiones mayores a las típicas del suelo. A medida que avanzan estas prácticas, se generan fenómenos geográficos como surcos o cárcavas; y en algunos casos extremos hasta deslizamientos. Estos últimos son ocasionados por algunos mineros, con el fin de poder extraer ese material sin necesidad de licencia.

Afectación del paisajismo: además de los 2 problemas anteriores, se suma los cambios morfológicos de los suelos, por lo cual es más difícil y lento el proceso de revegetalización. Las huellas dejadas por las canteras, son rechazadas por la comunidad.

Afectación al recurso hídrico: la explotación de agregados pétreos demanda una cantidad considerable de agua, para el desprendimiento y lavado del material. Posteriormente el agua es devuelta al cauce natural, sin ningún tipo de tratamiento; llenando el cauce del río con sedimentos de la cantera. Este exceso de sedimentos, ocasiona colmatación de obras hidráulicas, aumento de la altura del lecho, siendo susceptibles a crecientes e inundaciones, socavaciones en las orillas.

Contaminación del aire: la explotación de canteras, genera grandes nubes de polvo las cuales son transportadas por el viento. A falta de cobertura vegetal, en verano estas nubes se generan con más facilidad, hasta el punto de afectar a las poblaciones vecinas, presentándose algunas enfermedades respiratorias.

Otro aspecto a tener en cuenta, es el desperdicio del concreto en las plantas premezcladoras el cual se acerca al 10% del concreto producido. En su mayoría son agregados naturales, el cual es un recurso no renovable, sumado al desperdicio de material esta la disposición final de este material. A continuación se mostrara el proceso de fabricación de los agregados pétreos.

Sumado a lo anterior, se debe mencionar los problemas de la disposición final de biosólidos desechados por las industrias, en este estudio se centra en las industrias de papel; donde se desecha lodo de papel y es depositado en rellenos sanitarios, ocupando cerca del 30%. Donde se presenta la posibilidad de contener sustancias contaminantes usadas para tratar el lodo.

4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Estimar la variación de la resistencia de concretos convencionales de 3000 psi, usando un 5%, 10%, 20% y 30% de agregados de lodo de papel, como agregados gruesos en la mezcla de concreto.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el comportamiento mecánico de los agregados de lodo de papel.
- Determinar el porcentaje óptimo de inclusión de agregados gruesos de lodo de papel en concretos convencionales de 3000 psi.
- Graficar la resistencia del concreto fabricado con reemplazo de lodo papelerero en diferentes porcentajes y compararlo con la muestra de control la cual no tiene reemplazo de lodos papeleros.

5. MARCO REFERENCIAL

El tema de agregados en concretos puede estudiarse desde distintos puntos de vista como son aspectos técnicos, económicos, ambientales, legales, sociales (desde la generación o disminución de empleo) y paisajísticos. En este trabajo es de carácter netamente técnico en términos de resistencia del concreto.

Trabajos anteriores sobre uso del lodo de papel en construcción, nos muestra una relación para la mezcla de 1 parte de cemento, 0.15 de lodo papelerero, 2 de arena, 2.8 de grava pétreo y 1 parte de agua.

5.1. Antecedentes

El uso de materiales reciclados en los concretos, se ha venido estudiando hace unos cuantos años. La mayoría de estos concretos reciclados usan como agregado grueso algunos materiales residuos de las construcciones o demoliciones. El uso de lodo papelerero en el ámbito ingenieril se ha desarrollado de manera acelerada, para la fabricación de elementos paneles noestructurales, como es el trabajo de Adriana María Quinchía, Marco Valencia y Jorge Mario Giraldo; de la escuela de ingeniería de Antioquia en el año 2007

Este trabajo consistió en la elaboración de paneles prefabricados como elementos no estructurales para la construcción, a partir de lodos papeleros. Se definieron mezclas adecuadas, materiales y proceso de elaboración de paneles como divisiones en las viviendas, los cuales cumplen con los estándares resistencia requerida y cumple con la normatividad para este tipo de productos.³

En este contexto, se siguen abordando investigaciones dirigidas a obtener nuevas adiciones puzolánicas a partir de subproductos industriales diferentes a los tradicionalmente utilizados por la industria cementera. Uno de los enfoques más recientes se centra en el estudio de adiciones activas al cemento, obtenidas a partir de la activación térmica controlada de lodos procedentes de procesos de fabricación de papel a partir de papel reciclado.

El uso de dichas cenizas, se propuso en un estudio donde se realiza la inclusión de lodos papeleros activados térmicamente, en un concreto convencional, realizando un análisis físico-mecánico y durabilidad.⁴

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral es generar conocimiento sobre las propiedades físico-mecánicas y durabilidad de mezclas basadas en cemento

³Tomado de internet, disponible en la página web: <http://revista.eia.edu.co/articulos8/art.1.pdf>

⁴Trabajo de grado realizado por VEGAS Ramiro, IÑIGO Javier; de la universidad Euskal Herriko Unibertsitatea del país Vasco, en el año 2009

Portland con lodos de destintado del papel activados térmicamente a 700°C durante 2 horas.⁵

Por otra parte, los estudiantes Edwin A. García Q y David de los Ríos en la ciudad de Pereira⁶, realizaron una investigación sobre el Proceso Para Fabricar Materiales De Construcción A Partir De Residuos Celulósicos, donde se realizó una caracterización de los lodos papeleros. Se generaron resultados de composición grandes cantidades de agua, fibras cortas de celulosa inservible para hacer papel, cargas minerales, carbonato de calcio, arcillas y otros minerales, diversos catalizadores de mezcla o cloro para la fabricación de papel en el proceso. Dicho estudio se realizó en 2011

Edwin Quiroz y David de los Ríos empezaron a trabajar en el 2007 en un proyecto para darle un uso al lodo paplero, cuyo primer resultado, obtenido en el 2009, fue un bloque, parecido al ladrillo tradicional de barro, pero más resistente, barato y, según ellos, completamente ecológico. Tomaron ese lodo paplero y, tras dos años de trabajo en un improvisado laboratorio que montaron en una casa de Cartago (Valle del Cauca), lo convirtieron en un material tan resistente que permite crear bloques que pueden ser utilizados en la construcción de viviendas.⁷

Además de Colombia, en España, en la Universidad Politécnica de Cataluña se realizó el Estudio Comparativo Para La Substitución Del Cartón Pluma Por Un Nuevo Material Reciclado De Residuos Celulósicos Por Un Método Biotecnológico, fue hecho por los estudiantes Jorge Arturo Saquicela Gracia y Margarita Calafell en el año 2011

El objetivo de este proyecto consiste en caracterizar un nuevo material que se ha obtenido tratando biotecnológicamente residuos celulósicos procedentes de los fangos de la fabricación del papel y de residuos papeleros procedentes de la recogida selectiva de papel-cartón y de la industria gráfica, buscando que el nuevo material, sustituya las aplicaciones del Cartón Pluma, un material obtenido con recursos no renovables y con alto impacto ambiental.⁸

Finalmente se encontró un estudio aplicado en estabilización de suelos, titulado Efecto De La Aplicación De Lodo Paplero Sobre La Actividad Enzimática De Dos

⁵Tomado de internet, disponible en la página web: <http://tesis.com.es/documentos/comportamiento-fisicomecanico-durabilidad-mezclas-basadas-cemento-portland-lodos-destintado/>

⁶GARCIA QUIROZ, Edwin Andrés y DE LOS RIOS REJOS, David de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, en el año 2011

⁷Basados de artículos de El Tiempo y portafolio, disponibles en las páginas web:

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-3938149> y

<http://www.portafolio.co/negocios/desecho-contaminante-del-papel-se-convierte-casas>

⁸Tomado de internet, disponible en la web:

<http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Process-manufacture-construction-materials-from/WO2011073851.html>

Suelos De La Cuenca Del Lago De Valencia, Venezuela. La autora es Audry García y Carmen Rivero; de la Universidad Central de Venezuela en el año 2008.

Mediante un ensayo de incubación se evaluó el efecto del uso de lodos papeleros sobre la actividad enzimática en dos suelos: uno franco, moderadamente alcalino (Finca Los Flores, Santa Cruz de Aragua) y otro franco arenoso, moderadamente ácido (Campo Experimental del CENIAP, Maracay), ambos ubicados en el estado Aragua, Venezuela y clasificados como FluventicHaplustolls. Ambos suelos recibieron dosis equivalentes a 10 y 15 Mg/ha de lodo papelerero primario y fueron incubados durante 100 días, con una humedad de 60% de su capacidad de campo.

Tabla 1 Composición química del lodo de papel

Características	Suelos		
	Santa Cruz de Aragua	CENIAP	Lodo
pH	7,67 [*]	5,68 [*]	7,98 ^{**}
CE (dSm ⁻¹)	0,660	0,090	0,36
CIC (cmol _e .kg ⁻¹)	11,90	9,15	7,87
CO (g.kg ⁻¹)	14,80	15,60	45,70
N (g.kg ⁻¹)	1,10	1,05	1,50
% C/N	13,45	14,86	30,47
MO (g.kg ⁻¹)	25,50	26,80	78,80
P (mg.kg ⁻¹)	127	20	22
K (mg.kg ⁻¹)	22	22	0,0
Ca (mg.kg ⁻¹)	4055	1127	502
Mg (mg.kg ⁻¹)	258	201	6
Fe (mg.kg ⁻¹)	0,6	34	976
Zn (mg.kg ⁻¹)	0,4	2	150
Textura	F	Fa	

^{*}pH: 1:1 suelos ^{**}pH: 1:8 lodo
Fuente: Laboratorio General del Suelo. Instituto de Edafología. UCV

5.2. Marco teórico

Desde el siglo XX la disposición de estos residuos se ha convertido en un problema ambiental y social, ya que las características físico-químicas y mecánicas del lodo le imprimen un comportamiento variable al estar expuesto a condiciones ambientales, dado su proceso normal de descomposición; esta situación genera riesgos de inestabilidad cuando se le dispone sobre zonas de ladera y aun en rellenos no específicos para un solo material, por lo que es necesario disponerlos en monorrellenos controlados y, en ocasiones, consolidados. Uno de los principales efectos de esta disposición en suelos es la afectación de las propiedades de los suelos y la contaminación de corrientes de aguas cercanas a causa de la lixiviación; sumado a lo expuesto, las grandes cantidades producidas diariamente hacen que sea considerado un residuo especial por lo que se requieren alternativas de uso y valorización diferentes a la disposición final en suelos¹⁰.

⁹Tomado de internet, disponible en la web: [http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/5005/1/Garcia-Rivero%20Rev.%20Fac.%20Agro.%20Mca%20vol%2034\(3-3\).pdf](http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/5005/1/Garcia-Rivero%20Rev.%20Fac.%20Agro.%20Mca%20vol%2034(3-3).pdf)

¹⁰HOYOS HURTADO, María Teresa; LÓPEZ S., Yanine; MEJÍA I., Claudia A.; ROJAS G., Juliet; VARGAS I., Sandra. 2000. Aprovechamiento de los lodos primarios de las fábricas de papel. Medellín: UPB. p. 7.

5.2.0. Definiciones sobre el lodo de papel

- ✓ Celulosa. Material que forma las paredes celulares de plantas y arboles, usado para hacer papel.
- ✓ Fibra virgen: Fibra de papel hecha de material de plantas nuevas; no reciclado.¹¹
- ✓ Pulpa: Suspensión acuosa del producto resultante de la madera tratada por desintegración mecánica o tratamiento químico. Existen tratamientos intermedios y variantes de los químicos, que proporcionan diferentes variedades de pulpas.
- ✓ Repúlpeo. Actividad consistente en desfibrar los materiales compuestos de papel y cartón, con el fin de extraer la pulpa aprovechable y generar nuevos productos.¹²

5.2.1. Problema nacional:

Lo anterior es un problema no solo en Colombia, sino en todo el mundo y se han generado opciones de uso de este residuo, las cuales apuntan a compostaje, mezclas con arcillas para elaboración de ladrillos, bloques de concreto, absorbentes de aceites, base para alimento de animales, entre otras. Estas alternativas deben considerar no solo la utilización de los lodos como materia prima, sino que también deben competir con el bajo costo de disposición en rellenos para ser atractivos para la industria y satisfacer la oferta de las grandes cantidades de lodos producidos por la industria papelera, que para el caso de Medellín ascienden a más de 100 toneladas diarias¹³.

5.2.2 Problemática internacional:

En el análisis prospectivo realizado por la EIA, para determinar los posibles usos de los lodos papeleros, se concluyó que una de las aplicaciones viables en escala local es usarlos en la fabricación de elementos no estructurales como paneles prefabricados, los cuales podían armarse a partir de mezclas del residuo con yeso o cemento, manteniendo como material base los lodos papeleros. Dicha opción se basó en la incorporación del sistema de construcción modular con paneles prefabricados en el país, encontrando allí una oportunidad para competir con este mercado de construcción, que depende las importaciones que se hagan de otros países como Estados Unidos, Venezuela y Francia.

¹¹Definiciones tomadas de internet, La Tecnología del papel. disponible en la página web: [http://www.carolinacurriculum.com/stc/glossaries/Spanish_glossaries/TP-Gloss-SP .pdf](http://www.carolinacurriculum.com/stc/glossaries/Spanish_glossaries/TP-Gloss-SP.pdf)

¹²Glosario de Papelnet.cl. Tomado de internet, disponible en la página web: http://www.papelnet.cl/ayuda/glosario_p.htm

¹³QUINCHÍA, F. Adriana; RESTREPO, Camilo y BETANCOURT, Gonzalo. 2005. Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. 180 p.

5.2.3 Agregados convencionales

Los agregados pétreos, es un componente esencial en la mezcla de concreto hidráulico, del concreto asfáltico y para bases granulares. Los agregados gruesos junto con los finos, ocupan entre un 70% y 80% del volumen de la mezcla. Las principales características de los agregados son: forma, textura y gradación; las cuales afectan de manera directa la trabajabilidad de la mezcla al fundir elementos de concreto, exudación y segregación. Posteriormente se afectará la resistencia, rigidez, retracción, densidad y durabilidad del mismo.¹⁴

Los agregados pueden clasificarse de varias maneras. La primera es por su origen, sea extraído de fuentes naturales o a partir de productos industriales. Los agregados naturales tienen una sub-clasificación en función de su formación. Estas pueden ser de rocas ígneas, rocas sedimentarias, rocas metamórficas. Por su parte los agregados artificiales se clasifican según su densidad, sean de tipo ultra ligeros, ligeros, normal y pesado.

Otro tipo de clasificación es según el tamaño de las partículas, donde se separan las fracciones finas de los agregados gruesos, el cual pasa el tamiz #8.

Finalmente la última clasificación de los agregados es según su forma y textura, donde su forma puede clasificarse como redondeadas, irregulares, escamosas, angulares y alongadas. Según su textura, pueden encontrarse entre vitrea, lisa, granular, aspera, cristalina o apalanada.

5.2.4 Construcción en liviano

El sistema de construcción liviano en seco es en la actualidad uno de los métodos constructivos más usados para la elaboración de cielos rasos, divisiones y acabados de paredes. Este sistema consta de paneles de yeso que se anclan a un sistema de soportes metálicos. Los paneles son previamente fabricados y después utilizados en la obra, en donde se ensamblan con la estructura metálica para dar forma a diferentes instalaciones. Existen varios tipos de paneles prefabricados, siendo los más sencillos los que usan yeso y fibrocemento; algunos elementos fabricados con aglomerados de madera y con hormigón se usan de gran tamaño para la construcción de edificios¹⁵.

Las principales ventajas que ofrece el sistema de construcción en seco (drywall) son su rapidez de ejecución, gran versatilidad, menor peso sobre estructuras existentes, limpieza y un menor costo que los sistemas tradicionales, ofreciendo mejores niveles de confort y facilidad cuando se realicen reparaciones o

¹⁴LEON, M Patricia y RAMIREZ Fernando. 2010. Caracterización morfológica de los agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 25 N°2. 215 p. Disponible en la pagina web: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732010000200003&script=sci_arttext

¹⁵COLOMBIT. Cámbiese a la construcción liviana en seco. Revista Construcción Liviana en Seco: La solución constructiva. Medellín, 2006.

modificación es tanto en tabiques como en techos falsos.¹⁶

Basados en lo anterior se pretende verificar la factibilidad técnica y desarrollar la metodología para la elaboración de agregados prefabricados a partir de los lodos provenientes de la industria papelera, teniendo en cuenta el cumplimiento de los estándares requeridos para ser aplicados en la construcción, según las normas ASTM y estándares Icontec¹⁷.

En trabajos pasados sobre el lodo paplero, muestran la elaboración de ladrillos, placas, inclusión de este en forma pulverizada en el concreto o la estabilización de suelos expansivos, como fue usado en el lago de Valencia en el estado de Carabobo, Venezuela. Actualmente se han observado algunos trabajos o propuestas frente al correcto uso del lodo paplero, debido a la problemática de su disposición final. Con el fin de mejorar los resultados de trabajos anteriores, se ha decidido mezclar los lodos papleros, con un estabilizador de suelos líquido; el cual trabaja como aglomerante, impermeabilizantes y sustancia necesaria para controlar la rigidez de los lodos en estado seco.

5.2.5. Concretos con agregados ligeros:

un concreto liviano es aquel que posee una densidad menor a 2000 Kg/m³. Los hormigones livianos son usado en casos de necesidad de aislación térmica y acústica, y para disminuir el peso muerto de la estructura. Su principal desventaja es la baja resistencia y presenta una alta retracción hidráulica.

Una ventaja de estos concretos es la resistencia a solicitaciones mecánicas, como son acciones de fuego o congelamiento-deshielo. El mayor uso de estos concretos livianos es para el relleno de pisos y tabiques, o para la elaboración de bloques de albañilería y paneles.¹⁸

Los concretos livianos se pueden clasificar en:

- ✓ Concreto celulares:

Concreto gaseoso: se utilizan productos químicos, con el fin que reaccionen entre sí, o directamente sobre el cemento. Otra forma es la inclusión de productos que experimenten fermentación.

¹⁶GYPLAC. Placas de yeso-cartón online. Santiago de Chile. Consultado enero 2006. Disponible en la pagina web: <http://www.gyplac.com/>

¹⁷HENAO R. Alejandra y OCHOA Susana. 2006. Análisis de la viabilidad técnica del aprovechamiento de residuos de industrias papeleras en la elaboración de paneles prefabricados. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 197 p.

¹⁸Tomado de internet, disponible en la pagina web:

<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/LivianoT8.htm>

Concreto de espuma: se incluye un producto, el cual por agitación genera una espuma abundante de burbujas de aire.

✓ Concretos de agregados livianos:

Agregados inorgánicos: estos pueden ser de origen natural, de rocas sedimentarias o de rocas ígneas; o de origen artificial, sean fabricados o como subproductos de industrias concreteras.

Agregados orgánicos: pueden ser de madera (aserrín, virutas o fibras) o de algunos desechos orgánicos como cascara de arroz, cascara de papa o corcho granulado.

✓ Usos de concretos livianos:

- Elementos con bajos requisitos estructurales 1500 a 2500 psi [105 a 175 kg/cm²]
- Banquetas, plantillas para cimentaciones, rellenos de baja resistencia.
- Losas de cimentación de 2500 psi o 175 kg/cm²
- Bordillos.

5.3. Marco legal y normativo.

▪ Marco legal colombiano (explotación minera)

Art 332 de la constitución política de Colombia
Decreto 2655 de diciembre 23 de 1996
Ley 685 de 2001
Ley 1382 de 2010
Resolución 18-1145 de 2001
Resolución 18-1847 de 2001
Resolución 0034 de 2001
Decreto 2356 de 2001
Decreto 2222 de 1993
Ley 141 de 1994
Resolución 18-0861 de 2002
Decreto 2390 de 2002

▪ Normas técnicas colombianas (concretos 3000 psi)

NTC 77 concretos, método de análisis por tamizado para agregados.
NTC 92 determinación de la masa unitaria y relación de vacíos
NTC 126 ensayo para determinar la solidez-sanidad del agregado
NTC 385 terminología relativa al concreto y sus agregados
NTC 396 método de ensayo para determinar asentamiento de concreto
NTC 454 concretos, concretos frescos, toma de muestras
NTC 673 concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto
NSR-10 Reglamento Colombiano de construcciones sismo resistentes.

5.4. Marco conceptual

- Lodo papelerero: Estos lodos se generan al eliminar las tintas de los papeles usados con los que se fabricará papel reciclado. Este residuo contiene principalmente fibras cortas, estucos, cargas, partículas de tinta, sustancias extractivas y aditivos de destinado.¹⁹ El contenido de humedad es típicamente de hasta 40 %. El material es viscoso, pegajoso y difícil de secar y puede variar en viscosidad.
- Lodo residual clase B: biosólido que posee microorganismo patógeno, con posibilidad de reducir estos niveles hasta el punto que sea tolerable por el suelo, para mitigar los impactos con humanos y animales.
- Ensayo a la compresión: sometido a cargas axiales sobre las caras del cilindro, usando la máquina de ensayo para compresión de concreto, sean cilindros moldeados o núcleosextraídos. Se calcula como la relación de la carga máxima aplicada en el momento de falla dividido en el área de aplicación de la carga.²⁰
- Concreto hidráulico: Concreto de uso general en la construcción para elementos con bajos o moderados requerimientos estructurales y resistencia mecánica.²¹ El concreto hidráulico u hormigón es una mezcla de cemento (Mezcla compleja de silicatos de calcio y aluminio).grava y arena, al agregarle agua esta mezcla se endurece como roca por la fonación le largos cristales entrelazados. Para entender el ccomportamiento de meezclas de concreto hidráulico, es importante saber:
 - Fraguado: El fraguado es el proceso de pérdida gradual de plasticidad o viscosidad de la pasta de cemento, mortero u hormigón. Después del contacto del cemento con el agua se inician una serie de reacciones químicas más o menos complejas que dan lugar a tres fases o etapas bien identificadas. El fraguado inicial ocurre cuando la pasta de consistencia normal ha perdido parcialmente la plasticidad inicial de tal forma que ya ofrece una determinada resistencia a la penetración. En el caso del ensayo con las agujas de Vicat se dice que el fraguado se inicia cuando “la aguja de 1 mm de diámetro penetra en caída libre una profundidad de 25 ± 1 mm”. Se expresa como el tiempo transcurrido

¹⁹ASPAPEL S.A. GUIA DE GESTION DE RESIDUOS (FABRICAS DE PASTA, PAPEL Y CARTON), Madrid, España. Consultado Marzo, 2013. Disponible en la

internet:<http://www.aspapel.es/sites/default/files/publicaciones/Doc%2084.pdf>

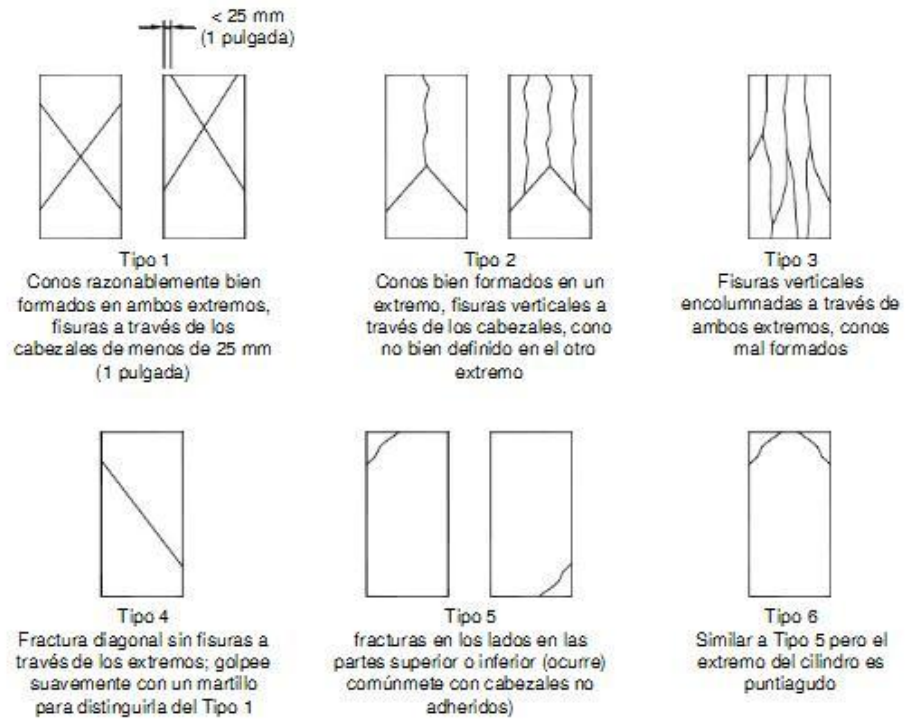
²⁰Definición tomada de internet. Disponible en la página web:

<http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/cementos.pdf>

²¹Definición tomada de internet; disponible en la web: <http://www.cempro.com/servicios-y-productos/productos/concreto-premezclado/101-concreto-convencional>

desde el momento en que se agrega agua al cemento. Para los cementos Portland se especifica un tiempo de fraguado inicial mínimo de 45 minutos.²²

- Falso fraguado: Es la pérdida brusca y rápida de plasticidad de una pasta recién preparada sin presentarse liberación alguna de calor. Se presenta durante los primeros minutos de mezclado el cemento con el agua y se puede romper prolongando el mezclado del material.
- Tipos de falla en los cilindros de concreto:



23

Ilustración 1 Tipos de falla en cilindros de concreto

La falla más normal de los cilindros de concreto es la tipo 1, la cual se hincha hacia los lados como un barril, segundos antes de la falla. El tipo 2 es una falla por cabeceo irregular (ver anexo 13). El tipo de falla 3, es debido a una mala compactación o falta de adherencia entre las capas. En el caso de este trabajo se debió a un falso fraguado de la mezcla. Tipo 4, se presenta cuando el estado de las caras del cilindro están en los límites de tolerancia para una adecuada falla. El tipo de falla 5 y 6, se presentan por segregación de los materiales hacia las caras, creando

²²Tomado de internet. Disponible en la página web:

<http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/cementos.pdf>

²³Tomado de internet, disponible en la página web: [http://proyecto1reciclaje-](http://proyecto1reciclaje-grupo1.blogspot.com/2012/10/entrega-2.html)

[grupo1.blogspot.com/2012/10/entrega-2.html](http://proyecto1reciclaje-grupo1.blogspot.com/2012/10/entrega-2.html)

puntos sobresalientes, lo que genera concentraciones de esfuerzos en las caras.

- Agregados pétreos: Los agregados pétreos son gravas de tamaños mayores a 5mm, los depósitos naturales de agregados son canteras de agregado triturado, o de algún lecho de fuente natural de agua. Este último se llama de canto rodado, se caracteriza por su redondez adquirida por el desgaste sufrido por fricción entre las partículas en el flujo de la corriente de agua.

Las funciones principales de los agregados gruesos dentro del concreto son:

- Servir de adecuado relleno en la pasta de mortero, reduciendo el uso de cemento.
- Proporciona mayor resistencia a las acciones mecánicas de desgaste o intemperismo.
- Reduce los cambios volumétricos, resultantes de procesos de fraguado y endurecimiento.

La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino. Estos materiales granulares sólidos inertes se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.²⁴ También son definidos como aquellos materiales rocosos naturales, que tras sufrir un tratamiento industrial (clasificación y/o trituración). Estos agregados pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico, sin embargo en las canteras a menudo se combinan varias de estas formaciones, como se presenta en los depósitos aluviales, canteras con actividad hidrotermal o por fuerzas tectónicas.²⁵ Además de los principales agregados usados, los cuales son de origen natural; existen agregados artificiales y agregados y reciclados. Los agregados naturales son usados en morteros, concretos, rellenos, prefabricados, balasto para vías férreas, subbases y bases para estructuras de pavimento, mezclas asfálticas, escolleras para puertos, lechos filtrantes, entre otros. Los agregados se pueden clasificar por su densidad, existen agregados ligeros, los cuales poseen densidades menores a 2000 Kg/m³, se usa para fabricación de cerámicas y concretos ligeros (vale la pena resaltar, que esta tecnología se está usando y desarrollando aceleradamente en países industrializados, con el fin de disminuir la carga de peso propio a las estructuras).

²⁴ Documento tomado de internet; disponible en la web: <http://es.scribd.com/doc/18190646/Agregados-Petres>

²⁵ Basado en el documento de internet disponible en la página web:

http://www.conasfaltos.com/archivos_web_conasfaltos/descargas/formatos/cartilla

Las propiedades más importantes de los agregados son:

- ✓ Resistencia: propiedad de oponerse a ser destruida, comúnmente la resistencia a la compresión es de 7 a 10 veces mayor q la resistencia a la tracción.
- ✓ Dureza: propiedad de resistirse a una deformación mecánica determinada.
- ✓ Textura superficial: debido a la influencia en el rozamiento interno y la resistencia al pulimiento del agregado. Esta depende del origen de formación de la roca.
- ✓ Adhesividad: es la actividad superficial de las partículas respecto al ligante y al agua. Estos pueden tener afinidad en contacto con el agua, son llamados hidrófilos; por otra parte están los agregados que evitan la humedad, estos son hidrófobos.
- ✓ Porosidad: relación entre volumen de poros y el volumen total del agregado.
- ✓ Absorción: volumen de vacíos accesibles en una roca con superficie seca. Esta se obtiene midiendo el peso del agregado saturado y después de secado.
- ✓ Masa unitaria: Es la relación entre la masa solida del material y el volumen ocupado en condición suelta o compactada.

A continuacion se muestra los distintos tipos de agregados según su densidad y sus respectivos usos en distintos tipos de concretos.

Tabla 2 Clasificación de agregados según densidad, y sus usos

Clasificación según la densidad de los agregados			
tipo de concreto	Masa unitaria del agregado (Kg/m ³)	Uso	Ejemplo de agregado
Ultra ligero	---	concreto para aislamiento	piedra pomex
Ligero	480 - 1040	rellenos y mampostería no estructural	perlita
Normal	1300 - 1600	concreto estructural y no estructural	agregado de río o triturado
Pesado	3400 - 7500	concreto para proteger de radiación gamma o X	hematita, barita, coridon, magnetita

26

²⁶RIVERA L. Gerardo A . Agregados para mortero o concreto. Universidad del Cauca. Disponible en la página web:
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20concreto.pdf>

6. DISEÑO METODOLOGICO

Dado que el proyecto es de tipo experimental, inicialmente se empezó por un estudio teórico de los diferentes tipos y usos de concreto existentes, con el objeto de precisar y delimitar la utilidad de la investigación que vamos a realizar, en el sentido de determinar qué tipo de concreto son susceptibles de ser mejorados con los agregados provenientes de la torta residual de lodos proveniente del reciclaje de papel. Seguidamente se consultará las especificaciones técnicas para el concreto de 3000 psi, tomamos estas especificaciones como referencia para la elaboración del concreto con el nuevo agregado. Dentro de este estudio es necesario determinar la resistencia de cada clase de concreto, su peso específico, las técnicas de fabricación y aplicación y los costos de cada uno, evaluando costos a diferentes distancias de la fuente de materiales pétreos. La investigación tiene 2 fases, primero se elabora una torta residual de lodos papeleros, en estado fresco, se moldea realizando los tamaños para las granulometrías requeridas. Posteriormente se llevan a un secado en un horno, con una temperatura máxima de secado de 55° C. Posteriormente se elaboran los cilindros, incluyendo los agregados de lodo en los porcentajes propuestos; para su posterior falla a edades de 7, 14 y 28 días.

Se realizó la elaboración de la torta residual de lodos derivados del papel reciclado, en estado seco se usó un proceso de trituración por la máquina de los ángeles; y tamizado. Se usan el material que pase el tamiz N^o8, seguidamente se moldearán con una relación de 500 gramos seco y tamizado de lodo, 150 ml de agua, 1,2 ml de cementante. Para el estado húmedo y fresco, no es necesario la trituración, ya que viene húmedo y uniforme; para este caso se usó 100 ml de agua. Luego de homogeneizar la mezcla, se procede al moldeo y compactación de los agregados. Para el presente trabajo, se usó una metodología parecida a las muestras de suelo cemento; en las camisas de ensayo, se vacía una cantidad considerable de mezcla, seguidamente se realizan 12 golpes con el martillo de compactación. Después de un rápido fraguado inicial, de aproximadamente 15 minutos después de la compactación; se retiran los discos de las camisas. Los discos tienen una altura máxima nominal de media pulgada, el cual es el tamaño máximo nominal de agregados, según la norma técnica colombiana NTC-550, donde se especifica que el diámetro debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal de agregado grueso, para que no exceda el tamaño nominal para los cilindros, el cual es $5/8$ ". Se realiza una granulometría de los agregados de lodo y se realiza el respectivo cálculo de inclusión de estos al resto de agregados gruesos. Paralelamente se realizaran testigos de concreto convencional, necesarios para la respectiva comparación. (Ver ilustración 2.)



*Ilustración 2 lodo de papel deshidratado*²⁷

Se practicaron ensayos de caracterización al lodo de papel con el fin de establecer los procedimientos adecuados de elaboración de estos agregados. Se calculó la densidad del material con el cual se realizaran los agregados, se definió la cantidad óptima de cementante al lodo de papel en función de su estabilidad. Y el procedimiento necesario para una correcta homogeneización de la mezcla. Para estado seco y saturado. Posteriormente se define la forma del agregado, para la cual estableció que fuera irregular y angular. Con el fin de simular la forma de un agregado producto de la trituración de canteras.

1. Elaboración de los agregados: inicialmente se elabora una mezcla del lodo de papel con el ligante hidráulico. Se usa una relación de 2 ml de ligante por cada kilo de lodo, en estado seco, primero se tritura en la maquina de los angeles, hasta llegar a un tamaño de grano que pase el tamiz #8. Después se mezcla el ligante con 250 ml de agua y finalmente se incorpora a la mezcla. En estado fresco se usa 150 ml de agua. Esto, debido al contenido de humedad inicial, el cual ayuda a mezclar el lodo con el ligante. Luego de homogeneizar la mezcla, es llevado a las camisas cilíndricas de 4 pulg. de diametro por 8 pulg. de altura. Se utiliza el martillo de compactación de 4 pulg. de diametro. Se compactan en capas menores a una pulgada de diámetro compactada con 12 golpes del martillo. Después de 15 minutos, se desencofra y se parte el disco en pequeñas fracciones, con el fin de simular la forma de agregados pétreos.
2. Posteriormente se realizó el diseño de mezcla de un concreto convencional para una resistencia a la compresión en edad de 28 días, de 3000 psi. Se realizó una relación de densidades entre el agregado grueso y el agregado de lodo; de este modo se realizó el diseño de mezcla para cada uno de los

²⁷GUERRA Alirio, MELENDEZ Pablo y SANCHEZ Rocío. 2013. Investigación De Sistemas Sostenibles Para Pisos Y Cubiertas Y Su Aplicación En Espacio Público Municipal Dentro Del Anteproyecto "Paseo Suchitlán" En La Ciudad De Suchitoto Universidad Centroamericana José Simeón Cañas" disponible en la página web: prezi.com/jtnpwnnvjgau/copy-of-tesis/

porcentajes manejados. Establecido lo anteriormente expresado, se continúa haciendo las muestras de concreto, las cuales son 9 cilindros de cada porcentaje usado (5%, 10%, 20% y 30%) y finalmente 9 cilindros de concreto sin usar agregados de lodo de papel.

3. Todos fueron llevados a la piscina de curado hasta el momento de fallar. Las edades de falla son 7, 14 y 28 días; para cada edad se fundirán 3 especímenes de cada porcentaje. Para un total de 45, se estiman 50 unidades. Con estos datos podemos graficar de manera confiable los resultados y así concluir. Es necesario evaluar el comportamiento de las probetas, variando el porcentaje del agregado resultado de re-moldear la torta residual de lodos y papel reciclado incluido en la mezcla y el porcentaje de agregado pétreo para la realización de las muestras.
4. Finalmente se fallaron los cilindros a compresión inconfiada y se analizaron los resultados por medio de graficas y tablas.

Tabla 3 Densidades y diseño de mezcla para cada uno de los porcentajes a remplazar

DENSIDAD COMPACTADA Y SUELTA DE LOS MATERIALES USADOS	
Densidad compactada de cemento	3100 Kg /m ³
Densidad suelta de cemento	1500 Kg /m ³
cemento por m ³	450 Kg /m ³
Densidad unitaria de agregados gruesos	2570 Kg /m ³
Densidad suelta de agregados gruesos	1375,25 Kg /m ³
Densidad agua	1000 Kg /m ³
Densidad compactada de arena	2590 Kg /m ³
Densidad suelta de arena	1734 Kg /m ³
Densidad compactada de lodo	1034 Kg /m ³
Densidad suelta de lodo	535 Kg /m ³

Dosificación para cada uno de los porcentajes de remplazo usados	
Nº de cilindros para concreto convencional	9,2 unid
Volumen ocupado por los cilindros	0,0152 m ³
Agua	3,41 Litros
Cemento	6,82 Kilogramos
Agregado Grueso	13,64 Kilogramos
Agregado fino	11,05 Kilogramos
lodo	0,00 Kilogramos
volumen total	0,0152 m ³

Nº de cilindros para un 5% de remplazo de agregado	9,2 unid
Volumen ocupado por los cilindros	0,0152 m ³
Agua	3,41 Litros
Cemento	6,82 Kilogramos
Agregado Grueso	12,96 Kilogramos
Agregado fino	11,05 Kilogramos
lodo	0,27 Kilogramos
volumen total	0,0152 m ³

Nº de cilindros para un 10% de remplazo de agregado	9,2 unid
Volumen ocupado por los cilindros	0,0152 m ³
Agua	3,75 Litros
Cemento	6,82 Kilogramos
Agregado Grueso	12,28 Kilogramos
Agregado fino	11,05 Kilogramos
lodo	0,54 Kilogramos
volumen total	0,0155 m ³

Nº de cilindros para un 20% de remplazo de agregado	9,2 unid
Volumen ocupado por los cilindros	0,0152 m ³
Agua	3,75 Litros
Cemento	6,82 Kilogramos
Agregado Grueso	10,91 Kilogramos
Agregado fino	11,05 Kilogramos
lodo	1,08 Kilogramos
volumen total	0,0155 m ³

Nº de cilindros para un 30% de remplazo de agregado	9,2 unid
Volumen ocupado por los cilindros	0,0152 m ³
Agua	4,09 Litros
Cemento	6,82 Kilogramos
Agregado Grueso	9,55 Kilogramos
Agregado fino	11,05 Kilogramos
lodo	1,63 Kilogramos
volumen total	0,0158 m ³

total agua	18,41 Litros
total cemento	34,10 Kilogramos
total agrgado grueso	59,34 Kilogramos
total agregado fino	55,24 Kilogramos
total agredado de lodo	3,53 Kilogramos

volumen requerido para la piscina de curado 0,0772 m³

6.1. Hipótesis:

De acuerdo a resultados de varios estudios sobre concretos reciclados, donde la mayoría usan residuos de demoliciones o desperdicios de la construcción, se logra evidenciar la alta viabilidad que existe en el reciclaje de concreto. Por otra parte, el lodo de papel se ha venido usando en elementos no estructurales para la construcción de viviendas; generalmente es usado para mampostería no estructural, o como láminas de drywall. De acuerdo a lo anterior, se puede estimar un adecuado comportamiento del lodo de papel en la mezcla de concreto, donde después de estudiar varios trabajos de grado y resultados sobre concretos reciclados, se estima que el porcentaje óptimo está alrededor del 10%. Se decide usar desde el 5% de remplazo, debido que la NSR-10 propone usar este porcentaje de agregados reciclados para los concretos convencionales. Además de ser la mitad de ligeros que los agregados artificiales y un poco más que los agregados naturales.

6.1.1. Variables

6.1.2. Variable independiente: porcentaje de inclusión y remplazo de agregados pétreos por agregados de lodo de papel.

6.1.3. Variable dependiente: resistencia a la compresión.

6.2. Universo o población

Los lodos usados, son desechos industriales en su mayoría con un alto contenido de celulosa y algunas tintas. Los análisis y resultados son comparados con un concreto convencional de 3000 psi. (Ver anexo 14)

6.3. Muestra:

Las muestras de lodo, fueron obtenidas de zonas ladrilleras ubicadas entre Zipaquirá y municipio de Cagua. (Ver anexo 1)

6.4. Instrumentos

- Camisas para cilindros de concreto. 4 pulg. de diámetro por 8 pulg. de longitud
- Martillo de compactación para suelos de 4 pulg de diámetro
- Máquina de los ángeles
- Probeta de 200 ml y de 1000 ml
- Plato metálico de 16" de diámetro
- Balanza de capacidad máxima de 8,1 Kg y exactitud de 0,1 gramo
- Espátula
- Palustre
- Equipo tamizador
- Trompo para mezcla de concreto

- Varilla compactadora de 3/8 pulg.
- Mazo de caucho de 1.25 lb
- Aceite para engrasar camisas
- Marcador
- Máquina de ensayo a compresión inconfinada

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Selección de proceso de elaboración de agregados.

Al moldear de varias maneras el agregado, primero en estado seco con partículas de gran tamaño, posteriormente en estado fresco con partículas más finas. Para el primer caso, dado el gran tamaño de las partículas se debió pulverizar en la máquina de los ángeles. Para un kilogramo de lodo seco, con cuatro esferas de la máquina de los ángeles se programó para 100 revoluciones. Posteriormente se realizó el agregado con lodo fresco. Debido al mayor contenido de humedad en el estado fresco, se facilita la mezcla del ligante, además se disminuye un poco el agua usada para mezclar el cementante en el lodo. Por esta razón se concluyó que la mejor forma de elaborar la torta residual, es con el material fresco y con su humedad relativa; dado que el moldeo y trabajabilidad de la pasta es más fácil. Para estado seco, dado el proceso de pulverizar, hasta llegar a un tamaño que pase un tamiz #8 (8,98 mm), humedecer y moldear; es un poco más complicado.

7.2. Tipo de falla en lodos papeleros

Se realizó un cilindro de 2 pulgadas de diámetro por 4 pulgadas de altura, siguiendo las recomendaciones de dimensiones para falla de cilindros en laboratorio; siendo la relación de altura diámetro 2 a 1. Después de su secado en horno, durante una semana aproximadamente, se llevó a fallar por compresión, donde se pudo evidenciar un tipo de falla muy usual en los concretos. (ver anexo 4)

7.3. Elaboración de los cilindros

Al incluir los agregados de lodo de papel a la mezcla, esta pierde trabajabilidad y debido a la deshidratación de la mezcla, se presenta un falso fraguado. Para lo cual se debió aumentar la relación agua cemento, a medida que suben los porcentajes de inclusión en la mezcla. Para concreto convencional y 5% de inclusión se usó una relación de agua cemento de 0,5. Para los de 10% y 20% se usó una relación agua cemento de 0.55%, finalmente a los de 20% y 30% se utilizó una relación de 0.60. Dado que la relación agua cemento es determinante en la resistencia de los concretos, se estima baja resistencia en concretos con adición mayor al 20% de agregados de lodos de papel.

7.4. Falla de los cilindros hasta punto de rotura.

Luego del desencofrado y posterior curado en la piscina, los cilindros se llevan a la máquina de compresión (ver anexo 5) y son fallados con una carga constante hasta la fractura del cilindro. Se hizo una prueba de permeabilidad a especímenes de concreto con lodo, al medírsele el peso antes y después de entrar en la piscina de curado (ver anexo 6 y 7). Los resultados arrojaron una diferencia de 49,2 gramos de agua; lo equivale a 49,2 mililitros de agua. Lo que equivale a aproximadamente el 6% de volumen total del cilindro.

También se evidencia los hormigueros que se presentan en los primeros cilindros, lo cual nos corrobora el falso fraguado de la mezcla y la dificultad para un correcto proceso de compactación y eliminación de vacíos. (ver anexo 8). En la falla del cilindro se observa la fractura de la muestra por la parte de los hormigueros (ver anexo 9) además se observa la fractura del agregado de lodo, el cual tuvo buena adherencia a la mezcla.

Al ver las resistencias, se logró determinar que las muestras que poseen un 5% de agregado de lodo de papel, son las únicas muestras que cumplen con las resistencias obtenidas de un concreto convencional, la resistencia obtenida fue de 2500 psi. El resto de las muestras, obtienen menores comportamientos en las resistencias de un concreto convencional. Las muestras más críticas, son las de 20% y 30%, donde se observa la baja pendiente de la gráfica lo que significa que siguen ganando resistencia, pero en una proporción menor. Lo anterior se evidencia en las bajas pendientes de estas muestras. Las muestras de 5% y 10%, tienen un comportamiento más cercano al concreto convencional de menor resistencia. (Ver ilustración 3).

Luego de analizar las resistencias en función del agregado obtenido, a pesar que disminuyen a medida que sube el porcentaje de remplazo, se puede observar un comportamiento muy similar entre las muestras de 10% y 20%. Dado que no disminuye significativamente la resistencia de un porcentaje a otro. (Ver ilustración 4).

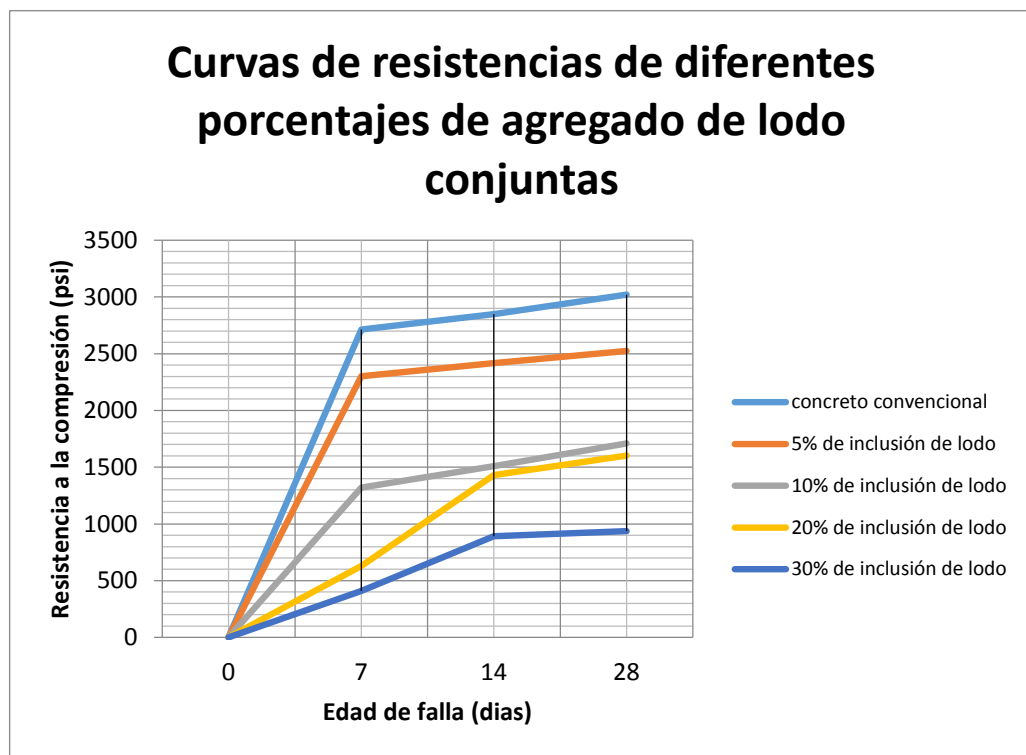


Ilustración 3 Curvas resultantes de resistencias en el tiempo, para cada porcentaje de remplazo.

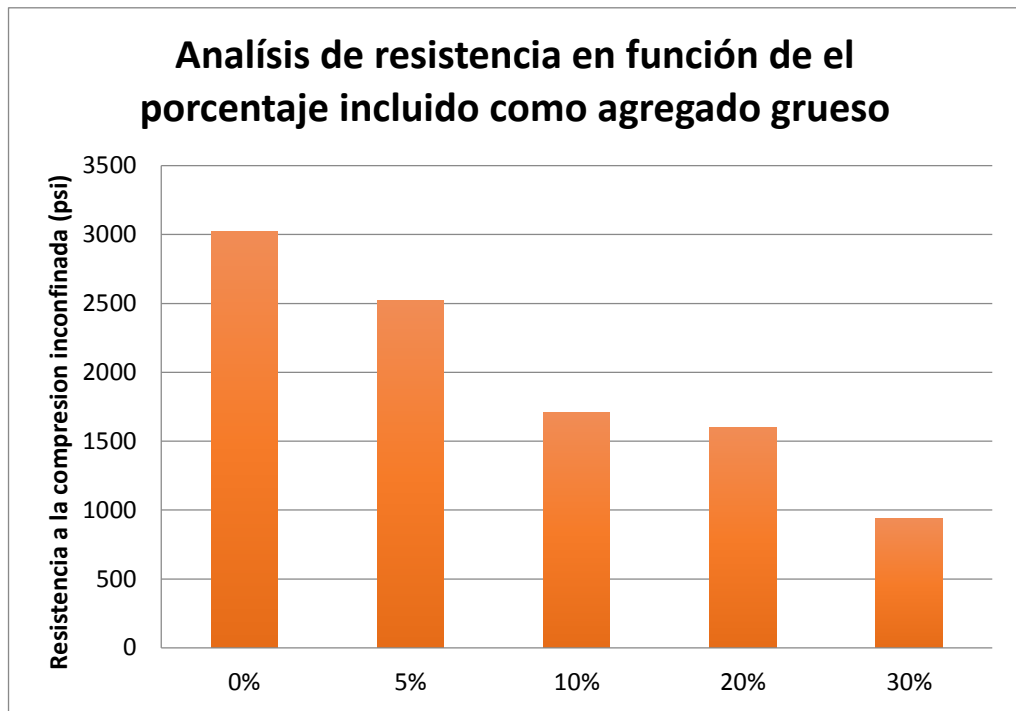


Ilustración 4 Resistencia final a 28 días de edad, en función de los porcentajes incluidos de agregado de lodo.

Se analizó la variación de las resistencias en función de las edades de falla, lo cual arrojó como resultado, la baja resistencia a 7 días a partir de un 10% en adelante de remplazo de agregados gruesos por agregados de lodo de papel (ver ilustración 5).

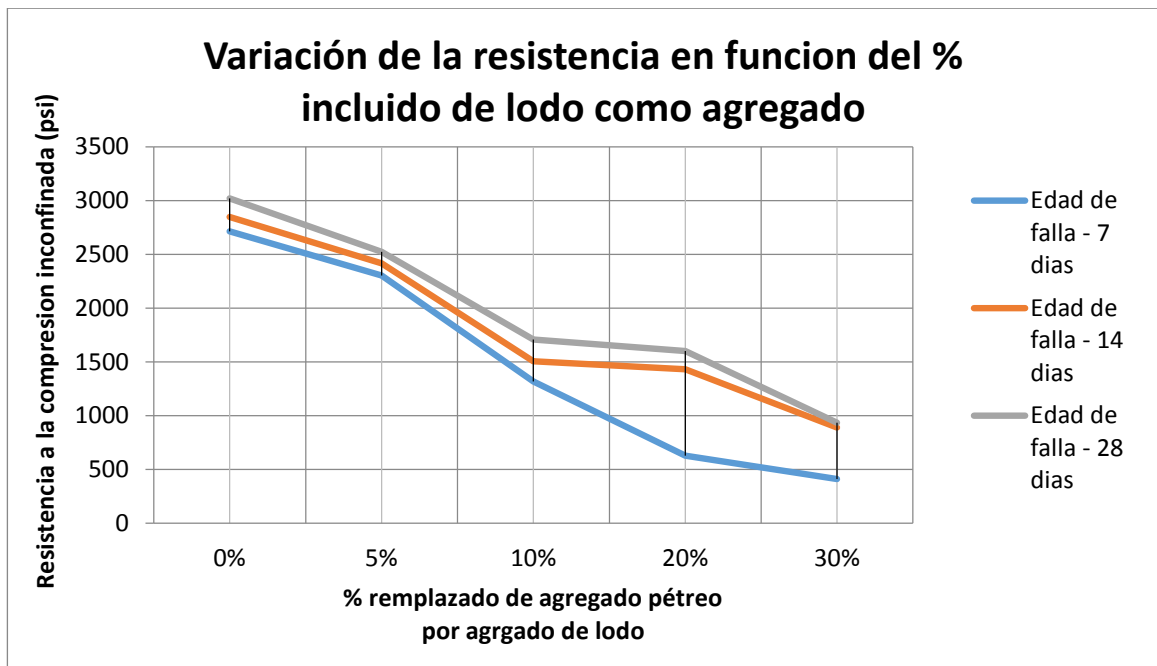


Ilustración 5 Curvas de variación de la resistencia para cada edad de falla, en función del % de agregado de lodo.

Los cilindros perdieron peso al ser remplazados sus agregados, la relación de pérdida de peso, en función al porcentaje incluido de lodo se presenta en la siguiente figura (ver ilustración 6).

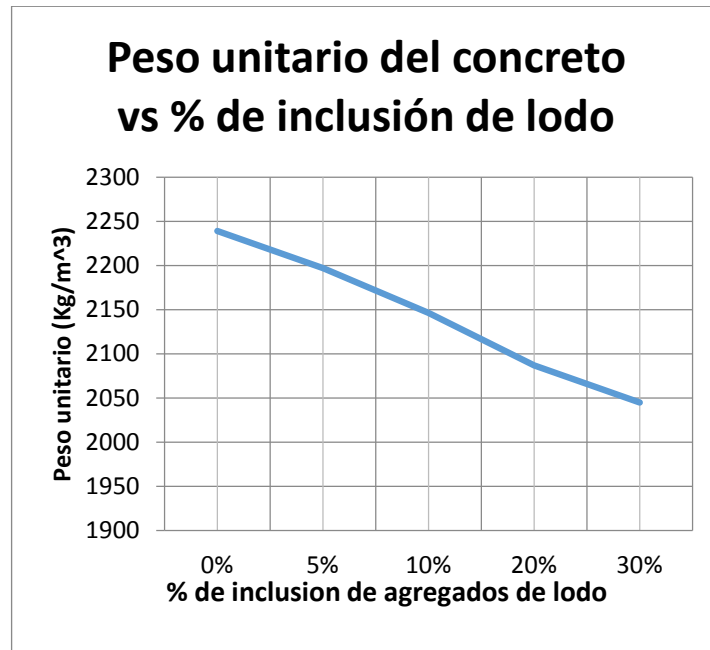


Ilustración 6 Variación del peso unitario en función del % incluido de agregados de lodo de papel.

Se estima la ecuación $Y = 2238,92 - 8,7 (X)$

Siendo Y el peso unitario y X el porcentaje de agregados de lodo.

Por último, se analizó la resistencia en función del peso específico de cada mezcla. Lo cual nos muestra un concreto de 2500 psi de resistencia, con el 5% de agregados de lodo. Después de analizar la gráfica, se puede establecer un concreto pobre de 2000 psi; cuando se reemplaza entre el 7% y 8% de agregados convencionales por agregados de lodo de papel.

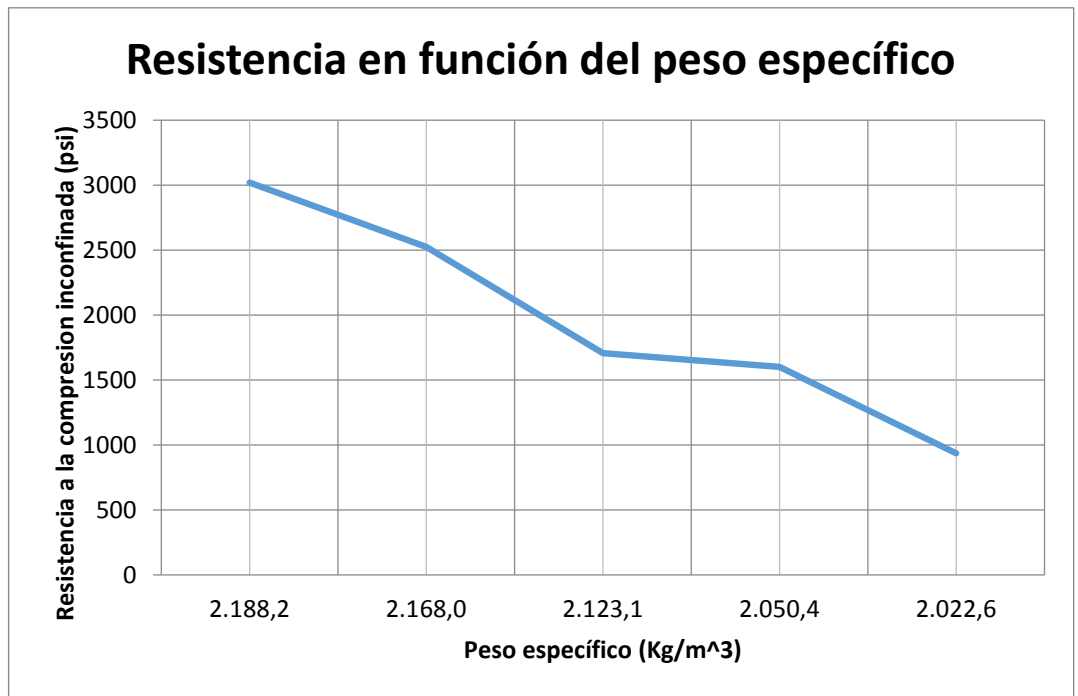


Ilustración 7 Resistencia a la compresión en función del peso específico del concreto.

8. CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados, se evidencia la disminución de resistencia a la compresión a medida que se incrementa el porcentaje de remplazo de agregados pétreos por agregados de lodo de papel.

Al observar las fallas (ver anexo 9), se ve la fractura del agregado de lodo en la parte de la base; lo que lleva a la conclusión que la resistencia obtenida de cada diseño de mezcla de concreto, es aportada por los agregados pétreos. Sin embargo se nota una buena adherencia del agregado a la mezcla.

Las fallas notadas en algunas muestras (ver anexo 10) son por las caras donde se ejerce la presión, es decir tipo de falla 5 o 6; esto debido a mala compactación de la muestras o segregación de los agregados. Mientras que las fallas más comunes (ver anexo 11) tipo de falla 2 y 3; se aprecia la falla por fracturas del agregado. El tipo de falla 4 se evidenció en algunos cilindros (ver anexo 12).

El peso específico es moderadamente reducido, a medida que se incrementan los porcentajes de inclusión. Dependiendo de las solitudes de carga que tenga una estructura, se analiza la posibilidad de usar este tipo de concreto con el fin de disminuir el peso propio de la estructura.

Para la producción de los agregados, se recomienda mezclar con el cementante en estado fresco, una adecuada compactación y secado. Se recomienda realizarlos en moldes de caras lisas, ejerciendo una fuerza de compactación dinámica o estática. Posteriormente llevar a un horno de secado a temperatura de 60° C, por un tiempo de 72 horas aproximadamente.

Dado que la producción de estos agregados puede realizarse en obra, genera un ahorro en transporte y compra de materiales. El único transporte que se debe realizar es el del lodo de papel. Debido que la eliminación de este desecho es muy costosa para las empresas de papel, se plantea un acuerdo con la industria, para transportar dicho material.

Debido a estos resultados, se puede concluir la factibilidad de usar estos agregados producidos con lodo de papel, en concretos convencionales de 2500 psi en un 5% de inclusión a la mezcla y respectivo remplazo de agregados pétreos.

Además se propone el uso de este agregado en mayores porcentajes, para concretos de menos solitudes de carga; debido que sería una estructura más eficiente al ser menos pesada.

El agregado producido tiene una densidad de 1034 Kg/m³, por ende se clasifica como agregado ligero, el cual tiene un rango de 480 - 1040 Kg/m³.

9. BIBLIOGRAFIA

RAMIREZ R. M. Isabel. 2008. Sostenibilidad De La Explotación De Materiales De Construcción En El Valle De Aburrá. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 10 p. disponible en la página web: www.bdigital.unal.edu.co/950/1/43207166_2009.pdf

QUINCHIA Adriana, VALENCIA Marco, GIRALDO Jorge. 2007. Uso De Lodos Provenientes De La Industria Papelera En La Elaboración De Paneles Prefabricados Para La Construcción. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). 10 p. disponible en la página: <http://revista.eia.edu.co/articulos8/art.1.pdf>

HOYOS HURTADO, María Teresa; LÓPEZ S., Yanine; MEJÍA I., Claudia A.; ROJAS G., Juliet; VARGAS I., Sandra. 2000. Aprovechamiento de los lodos primarios de las fábricas de papel. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

QUINCHÍA, F. Adriana; RESTREPO, Camilo y BETANCOURT, Gonzalo. 2005. Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. Disponible en la pagina web: <http://revista.eia.edu.co/articulos8/art.1.pdf>

COLOMBIT. Cámbiese a la construcción liviana en seco. Revista Construcción Liviana en Seco: La solución constructiva. Medellín, 2006.

GYPLAC. Placas de yeso-cartón online. Santiago de Chile. Consultado enero 2006. Disponible en la Internet: <http://www.gyplac.com/>

HENAO R. Alejandra y OCHOA Susana. 2006. Análisis de la viabilidad técnica del aprovechamiento de residuos de industrias papeleras en la elaboración de paneles prefabricados. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 197 p.

ASPAPEL S.A. GUIA DE GESTION DE RESIDUOS (FABRICAS DE PASTA, PAPEL Y CARTON), Madrid, España. Consultado Marzo, 2013. Disponible en la internet:<http://www.aspapel.es/sites/default/files/publicaciones/Doc%2084.pdf>

<http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/cementos.pdf>

<http://www.cempro.com/servicios-y-productos/productos/concreto-premezclado/101-concreto-convencional>

<http://es.scribd.com/doc/18190646/Agregados-Petres>

<http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/cementos.pdf>

<http://revista.eia.edu.co/articulos8/art.1.pdf>

Trabajo de grado realizado por Vegas Ramiro, Iñigo Javier; de la universidad Euskal Herriko Unibertsitatea del país Vasco, en el año 2009

<http://tesis.com.es/documentos/comportamiento-fisicomecanico-durabilidad-mezclas-basadas-cemento-portland-lodos-destintado/>

GARCIA QUIROZ, Edwin Andrés y DE LOS RIOS REJOS, David de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, en el año 2011

www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-3938149 y
www.portafolio.co/negocios/desecho-contaminante-del-papel-se-convierte-casas

<http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Process-manufacture-construction-materials-from/WO2011073851.html>

[http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/5005/1/Garcia-Rivero%20Rev.%20Fac.%20Agro.%20Mcay%20vol%2034\(3-3\).pdf](http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/5005/1/Garcia-Rivero%20Rev.%20Fac.%20Agro.%20Mcay%20vol%2034(3-3).pdf)

prezi.com/jtnpwnnvjgau/copy-of-tesis/