



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA: INGENIERIA CIVIL

TEMA:

**Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de
aguas residuales.**

AUTOR:

Moncada Zambrano, Antonio Ricardo

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Martínez Rehpani, Colón Gilberto

Guayaquil, Ecuador

29 de Agosto del 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA: INGENIERIA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Antonio Ricardo Moncada Zambrano** como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto, Msc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, Msc

Guayaquil, a los 29 del mes de Agosto del año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA: INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Moncada Zambrano, Antonio Ricardo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 29 del mes de Agosto del año 2016

EL AUTOR:

f. _____
Moncada Zambrano, Antonio Ricardo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA: INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Moncada Zambrano, Antonio Ricardo

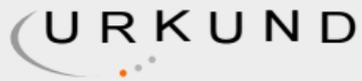
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 29 del mes de Agosto del año 2016

EL AUTOR:

f. _____
Moncada Zambrano, Antonio Ricardo

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: MONCADA ANTONIO rev.04 28-09-16.pdf (D22062155)
Submitted: 2016-09-29 16:52:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 10 %

Sources included in the report:

URKUND TESIS A.E..docx (D14909463)
AGUAS RESIDUALES PORTOVIEJO 1.docx (D9826238)

Instances where selected sources appear:

20

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su gran apoyo constante. A mi tutor, porque observa cosas que otros solo ven. A la naturaleza porque es mi mayor fuente de inspiración

DEDICATORIA

A la naturaleza y a mi familia.

Antonio Ricardo Moncada Zambrano



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto, Msc
TUTOR

f. _____

Ing. Alcivar Bastidas, Stefany Esther, Msc
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Camacho Monar, Alexandra, Msc
DOCENTE DE LA CARRERA

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	18
CAPITULO I.....	20
ANTECEDENTES	20
1.1. Planteamiento del problema	20
1.2 Objetivos de la investigación	20
1.2.1 Objetivo general.....	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
CAPITULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas	22
2.1.1 Pretratamiento.....	23
2.1.2 Tratamiento secundario: Lodo Activo	24
2.1.3 Tratamiento Terciario:	26
2.2 Tratamiento de lodos	27
2.2.1 Manejo de lodos	27
2.2.2 Características de los lodos	28
2.2.3 Lodo primario	30
2.2.4 Lodo secundario	30
2.2.5 Producción de lodos	31
2.2.6 Estabilización de lodos.....	32
2.2.7 Espesamiento de lodos	34
2.2.8 Secado de lodos	35
2.3 Arcilla expandida	37
2.3.1 Requisitos químicos para que una arcilla sea capaz de expandirse	38
2.4 Hormigón ligero	38
2.4.1 Agregado fino	40
2.4.2 Sistema cementante	40
2.4.3 Usos del hormigón ligero de alto desempeño	41
2.4.4 Acerca de la absorción de los agregados ligeros	42
2.4.5 Acerca del contenido de agua de los agregados ligeros al elaborar hormigón.....	42
2.4.6 Hormigón liviano con arcilla expandida	43
CAPITULO III	44
METODOLOGÍA	44
3.1 Lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales la joya ..	44
3.2 Arcilla de la formación piñón.....	47
3.2.1 Intervención con la comunidad.....	48
3.2.2 Muestro y preparación de la arcilla expansiva de la formación piñón	50
3.3 Selección del experimental.....	51
3.4 Proceso de la elaboración de los agregados para el hormigón.	52

3.5	Proceso de cocción de la arena+grava de arcillas y adición porcentual de lodo residual.....	56
3.6	Análisis de laboratorio de las arenas+gravas de arcillas con adiciones de lodo residual.....	58
3.6.1	Granulometría	58
3.6.2	Gravedad específica y absorción del agregado grueso	59
3.6.3	Masa unitaria suelta y varillado de la arena+grava de arcilla con adiciones de lodo residual	59
3.7	Dosificación del hormigón ligero.....	60
3.8	Proceso de fabricación del hormigón ligero.....	60
3.9	Análisis de laboratorio a los cilindros de hormigón ligero.....	62
3.9.1	Resistencia a la compresión simple	62
3.10	Factibilidad económica y comparación de costos.....	68
	CAPITULO IV.....	71
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
4.1	Conclusiones	71
4.2	Recomendaciones.....	73
	Referencias	74
	Bibliografía	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición característica de los lodos	29
Tabla 2. Concentración de metales pesados en los lodos domésticos.....	29
Tabla 3. Producción de lodos en aguas residuales domésticas.....	32
Tabla 4. Configuración del agregado	54
Tabla 5. Distribución del tamaño de las partículas	58
Tabla 6. Propiedades físicas de la arena+grava de arcilla más adiciones de lodo residual.....	59
Tabla 7. Masa unitaria suelta	59
Tabla 8. Masa unitaria varillada.	60
Tabla 9. Dosificación en volumen para 1m ³ de hormigón.....	60
Tabla 10. Tipos de cilindros	61
Tabla 11. Resultados de laboratorio a los 7 días	65
Tabla 12. Resultados de laboratorio a los 14 días	66
Tabla 13. Resultados de laboratorio a los 28 días	67
Tabla 14. Precio por volumen de agregados.....	68
Tabla 15. Precio por volumen de hormigón vaciado directamente.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso de lodo activo. Fuente: (Ramalho, 1983).	25
Ilustración 2. La digestión de los lodos de manera anaeróbica. Fuente: (klaerwerk-online.de)	34
Ilustración 3. Bolas de Arlitas.	37
Ilustración 4. Sección de una probeta de hormigón ligero con árido de arcilla expandida. Fuente: Internet	43
Ilustración 5. Vista panorámica de la PTARD LA joya. Fuente: Autor	44
Ilustración 6. Lodos deshidratados. Fuente: Autor	45
Ilustración 7. Recolección de los lodos, con un porcentaje de humedad alrededor del 6-8%. Fuente: Autor	45
Ilustración 8. Sacos de lodos listos para ser transportados. Fuente: Autor	46
Ilustración 9. Lodos residuales iniciando el proceso de secado. Fuente: Autor	46
Ilustración 10. Proceso de trituración de los lodos residuales. Fuente: Autor	47
Ilustración 11. Ubicación de la ladrillera. Fuente: Google Earth.	47
Ilustración 12. Ubicación de la ladrillera-zoom. Fuente: Google Earth.	48
Ilustración 13. Arcilla de la formación Piñón. Fuente: Autor	48
Ilustración 14. Participación de la comunidad. Fuente: Autor	49
Ilustración 15. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil. Fuente: Autor	49
Ilustración 16. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil. Fuente: Autor	50
Ilustración 17. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil. Fuente: Autor	50
Ilustración 18. Colocación de las primeras muestras Arcilla de la formación Piñón, en la cámara de secado. Fuente: Autor	51
Ilustración 19. Arcilla de la en proceso de secado. Fuente: Autor	51
Ilustración 20. Lugar experimental, Facultad de ingeniería civil. Fuente: Autor	52
Ilustración 21. Material fino de lodo residual, antes y después de ser triturado. Fuente: Autor	52
Ilustración 22. Arcilla de la formación Piñón después del proceso de secado. Fuente: Autor	53

Ilustración 23. Lodo residual de la Joya después del proceso de secado. Fuente: Autor	53
Ilustración 24. Arena+Grava lista para ingresar al horno. Fuente: Autor.....	54
Ilustración 25. Arena+Grava con 90% de arcilla y 10% de lodos residuales. Fuente: Autor	55
Ilustración 26. Arena+Grava con 80% de arcilla y 20 % de lodos residuales. Fuente: Autor	55
Ilustración 27. Arena+grava con 70% de arcilla y 30% de lodo residual, y 100% de arcilla y 0% de lodo residual. Fuente: Autor	55
Ilustración 28. Horno artesanal para la cocción de los áridos. Fuente: Autor	56
Ilustración 29. Áridos después del proceso de cocción. Fuente: Autor	56
Ilustración 30. Áridos después de la cocción. Fuente: Autor	57
Ilustración 31. Áridos de arcilla con 10% de lodo residual, después de la cocción, listas para ser usada como agregado para el hormigón. Fuente: Autor.....	57
Ilustración 32. Curva de Distribución Granulométrica. Fuente el Autor.....	58
Ilustración 33. Cilindros de hormigón tipo A (experimental) y B en la piscina de curado. Fuente: Autor.....	61
Ilustración 34. Cilindros de hormigón en la piscina de curado. Fuente: Autor	62
Ilustración 35. Piscina de curado. Fuente: Autor	62
Ilustración 36. Pesando los cilindros antes de aplicar el ensayo de compresión simple. Fuente: Autor.....	63
Ilustración 37. Prensa para el ensayo de compresión de los cilindros, antes y después de aplicar el ensayo. Fuente: Autor	63
Ilustración 38. Analizando los resultados de compresión simple. Fuente: Autor	63
Ilustración 39. Zona de falla en cilindro de hormigón ligero con agregado 90% de arcilla y 10% de lodo residual. Fuente: Autor	64
Ilustración 40. Muestras de la sección transversal y longitudinal de los cilindros de hormigón ligero con agregado 90% de arcilla y 10% de lodo residual. Fuente: Autor	64
Ilustración 41. Sección transversal del cilindro de hormigón ligero de arena+grava de arcilla con adiciones de lodo residual Fuente: Autor	64
Ilustración 42. Análisis comparativos de las densidades alcanzadas por el hormigón ligero con adiciones variables de lodo residual. Fuente: Autor.....	65
Ilustración 43. Resistencia a la compresión a los 7 días. Fuente: Autor	66

Ilustración 44. Resistencia a la compresión a los 14 días. Fuente: Autor.....	66
Ilustración 45. Resistencia a la compresión a los 28 días. Fuente: Autor.....	67
Ilustración 46. Curvas de comparación de la evolución de la resistencia del hormigón ligero que utiliza distintas adiciones de lodos residuales. Fuente: Autor ..	68
Ilustración 47. Comparación de costo de agregados por m ³ . Fuente: Autor	69
Ilustración 48. Comparación de costo de agregados por m ³ . Fuente: Autor	70

Resumen

En el presente trabajo se ha demostrado que es factible el uso de lodos de sistemas de depuración de aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil, para que se pueda utilizar como material de construcción. Se plantea una solución para disminuir el impacto ambiental que produce el desalojo de los lodos residuales, al utilizar este material peligroso. En este proyecto de investigación metodológica experimental, se propone usar este material como agregado grueso y fino como componentes del hormigón ligero, Logrando adiciones porcentuales de 0-10-20-30% de lodos residuales de sistemas de depuración de aguas domésticos a la arcilla expansiva de la formación Piñón del norte de la ciudad Guayaquil, dando como el porcentaje más óptimo el de 10% de lodo residual y 90% de arcilla expansiva. Logrando una reducción aproximada del 20 % el peso específico del hormigón ligero, y desarrollar una curva granulométrica continua o tendida, para la realización de hormigón ligero de alta resistencia.

Abstract

In the present work it has shown that it is feasible to use sludge treatment systems for domestic wastewater from the city of Guayaquil, that can be used as building material. A solution is proposed to reduce the environmental impact caused by the removal of the sludge, using this dangerous material. In this experimental methodological research project, it is proposed to use this material as coarse and fine aggregate as lightweight concrete components, Achieving percentage additions 0-10-20-30% waste sludge treatment systems domestic water to the expansive clay Pinion formation north of the city of Guayaquil, giving as the optimum percentage than 10% of sewage sludge and 90% of expansive clay. Achieving approximately 20% reduction in the specific weight of lightweight concrete, and develop a continuous or lying, for the realization of high-strength lightweight concrete grading curve.

Palabras Claves: Hormigón ligero, lodos residuales, plantas de tratamiento de aguas residuales, desalojo y manejo de lodos residuales, arena+grava de arcilla con lodo residual

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de las aguas residuales domésticas y municipales en la ciudad de Guayaquil, generan aproximadamente alrededor de 70 toneladas de lodo o fango residual al día, tienen sustancias que contaminan al medio ambiente y la salud de las personas, los cuales son depositados en su gran mayoría en el relleno sanitario Las Iguanas de la ciudad de Guayaquil

En los sistemas de depuración convencionales de agua residuales domésticas, los procesos que tienen un menor tiempo de retención hidráulico generan una mayor cantidad de lodos, ya que no le da tiempo para que este se digiera, y por cuestión de área o espacio, y la producción de lodos es grande. Para (Limón, 2013) la materia sólida contenida en las aguas residuales domésticas e industriales, en su mayoría, no supera el 12% del peso y nunca es menos del 0.25%.

La disposición inadecuada de los lodos residuales y la falta de un tratamiento previo, tiene un impacto negativo en la sociedad y el medio ambiente. Un correcto manejo de estos lodos es costoso, por lo que cual los ingenieros a cargo de esto deben idear maneras de bajar los costos y elevar los beneficios para la sociedad y el medio ambiente.

En algunos países, como Colombia ya se está trabajando con materiales de semejantes características al lodo residual, y se logran hacer productos tales como mortero, que tienen un porcentaje de este material, llegando a tener en algunos casos más resistencia que los productos comerciales.

En este contexto, nace la necesidad de elaborar un material que permita aminorar los problemas mencionados anteriormente. El material a realizar es una arena+grava de arcilla, pero con un cierto porcentaje de lodo residual que varía entre 0-30% y una granulometría amplia.

Su excelente compromiso entre ligereza y resistencia la hace ideal para su utilización tanto en morteros ligeros aislantes termoacústicos así como en hormigones ligeros de altas resistencia.

La preparación de la arena+grava de arcilla con un porcentaje de lodo residual, con la deshidratación del material en la cámara de secado con efecto invernadero, hasta tener un porcentaje de humedad de alrededor del 2%, logrando esto en un tiempo entre de 1-3 días, depende del porcentaje de humedad con que entra el material a la cámara de secado, que por lo general, varía entre 6-20%. Luego este material se lo muele y se ingresa a la mezcladora para formar la ‘arena+grava’, se ingresa a la cámara nuevamente, y se deja un periodo de 1 día aproximadamente, a temperaturas que fácilmente superan los 55 grados centígrados entre las 12h00 y 15h00. Después de ese periodo de secado, son transportadas a un horno artesanal de ladrillas de arcilla, donde llegan a temperaturas entre 700-1200 grados centígrados, en el cual se expanden alrededor de un 20% su tamaño inicial y gana mayor resistencia. Luego se pone el material en una mezcladora de sólidos y se prepara el hormigón, siguiendo el proceso común.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

El presente tema busca darle continuidad a los trabajos de investigación que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, en el área de la contaminación ambiental.

En la ciudad de Guayaquil, existe el problema del manejo de las aguas residuales, las mismas que, al no ser debidamente tratadas, son descargadas a los ríos aumentando su contaminación y costo de potabilización.

La fabricación y/o explotación de los materiales de construcción convencionales, generalmente conllevan un gran costo medioambiental, debido a que su extracción y/o producción demanda un alto gasto energético, al igual que el transporte y su transformación.

En algunas ciudades del país las aguas residuales son lanzadas al mar, en lagunas o en los ríos, contraviniendo específicas normas ambientales, de salud física y mental, y se ven perjuicios en el área del turismo.

Para mitigar los impactos ambientales generados por la presencia del ser humano en los ecosistemas, disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, y por ende, contribuir con la disminución del efecto invernadero y del calentamiento global, se plantea investigar el lodo residual de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil y su aprovechamiento como materiales de construcción. Se está pensando en disminuir la contaminación de nuestros cuerpos de agua

1.2 Objetivos de la investigación

Los objetivos que se presentan a continuación son los que orientaron el desarrollo de la investigación, a través de ellos se pretende dar una solución viable a partir de varias alternativas que facilite la implementación de mecanismos para decidir el destino final de los lodos.

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica de emplear lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, en la elaboración de hormigón ligero, para que se pueda dar otro uso a este residuo, para minimizar los impactos ambientales que pudiera producir la disposición final de estos lodos, y al mismo tiempo que contribuya a la elaboración de un producto necesario para la construcción.

1.2.2 Objetivos específicos

- Muestrear y caracterizar los lodos producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales, para utilizarlos como adición en la elaboración de agregados coaccionados para hormigón ligero.

- Elaborar y caracterizar los agregados y los especímenes de hormigón ligero utilizando arcillas del norte de Guayaquil, adicionadas con diferentes proporciones de lodos residuales de plantas de tratamiento, para desarrollar una metodología de fabricación artesanal de agregados que pruebe su viabilidad ejecutiva.

- Realizar ensayos de laboratorio de los especímenes de hormigón ligero con áridos coaccionados fabricados a partir de arcillas con adiciones de lodos residuales de plantas de tratamiento, para analizar la viabilidad técnica de fabricar hormigones de bajo peso que puedan ser utilizados en obras de construcción civil.

-

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas

Generalmente le denominan aguas negras por el color que habitualmente se aprecia en ellas y cloacales porque se transportan mediante sumideros nombrando al colector de este tipo de agua: cloaca. Estas se conducen por el alcantarillado, aunque incluyen también las recogidas de depósitos individuales instalados en aquellos lugares donde el sistema de alcantarillado no llega y que se trasladan en carros cisternas hasta lagunas o colectores. Se incorporan a estas aguas, las de lluvia, que han ido a parar a las alcantarillas por el escurrimiento. (Orellana Leon, 2015)

El objetivo principal del control de la contaminación por aguas residuales domésticas, ha sido tratar controladamente las aguas residuales en sistemas cerrados y que todos los procesos biológicos naturales que se produjeran en un río se generen en una zona mucho más compacto, no afecte al medio ambiente, hasta que este efluente salga con cargas mínimas y la naturaleza lo trate por si sola.

El agua residual doméstica, ARD, producto de la actividad normal de las viviendas humanas, tiene un alto contenido de DBO, Es natural que al arrojar las aguas residuales domésticas (ARD) a una corriente en altas cantidades exceda su capacidad de autopurificación, puede bajar la concentración de oxígeno disuelto por debajo de 4.0 g/m^3 , límite mínimo requerido para el uso'' conservación de fauna acuática superior''. (Orozco Jaramillo, 2014).

Los sistemas de depuración se empezaron a perfilar, balbucientes, al cambio del siglo XIX al XX; se empezaron a desarrollar en la primera mitad del presente siglo, y se consolidaron como una tecnología madura en las últimas décadas. Por razones diversas, la tecnología que se desarrolló originalmente es la conocida hoy como tecnología convencional o aerobia, de las cuales (razones) la principal es, tal vez, la sencillez de la microbiología involucrada en este tipo de tratamiento. (Orozco & Salazar, 1987).

La tecnología aeróbica se difundió por todo el mundo, logrando desde sus inicios desarrollos sofisticados de la misma, razón por la cual se conoce el día de hoy, todos sus procesos biológicos, microbiológicos, bioquímicos y físicos. Esta tecnología cuenta con obras y equipos costosos, de tal modo que toma una gran cantidad de tiempo y dinero para montar un sistema completo de descontaminación de las aguas.

Sin embargo, la tecnología aerobia ha venido produciendo últimamente diseños cada vez más eficientes, y los costos van bajando y han llegado a ser competitivos con las tecnologías anaerobias que aparecieron recientemente, con una disminución significativa en los costos de capital y operación. Más aún, las diferentes tecnologías, aerobias y anaerobias, se han venido especializando para aplicaciones específicas de modo que ahora, en lugar de competir entre sí, se complementan. Más aún, con la aparición de las tecnologías para edades de lodos extremadamente altas. ELEA, se han abierto unos horizontes antes insospechados para la mejora de las eficiencias y la reducción de los costos. (Orzoco, 1993).

2.1.1 Pretratamiento

El pretratamiento, antes del proceso del tratamiento propiamente dicho, es esencial, por cuanto un error en la selección de los procesos adecuados puede llevar a la falla del sistema. Las unidades de pretratamiento se definen como los procesos preparatorios necesarios antes de someter el agua residual (AR) al tratamiento biológico, y buscan igualar y homogenizar el flujo, adicionar los nutrientes necesarios, regular el pH requerido de tratamiento, eliminar sólidos flotantes e inorgánicos, en fin, eliminar toda sustancia nociva para el éxito del proceso. (Orozco Jaramillo, 2014).

Algunos de los pretratamientos mas usados son los siguientes (Orozco Jaramillo, 2014):

- Desbaste
- Tamizado
- Desarenador
- Medición de flujo.
- Igualación y Homogenización
- Neutralización

- Adición de Nutrientes
- Acidificación

En su expresión más general, el tratamiento preliminar ocurre a través de una secuencia de unidades de tratamiento encargadas de modificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual. Recientemente materiales como colillas de cigarrillos, piezas de plástico y elementos profilácticos, han tomado gran importancia en sistemas de tratamiento que incluyen la estabilización por compostaje de los biosólidos (lodos biológicos) generados en el tratamiento de las aguas residuales. Si estos materiales no son removidos eficientemente en el pretratamiento, tendrían que ser tamizados del compost curado para así cumplir con las exigentes especificaciones del producto estabilizado. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

2.1.2 Tratamiento secundario: Lodo Activo

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios. El proceso de lodos activos ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activos se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Solo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activos. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un periodo de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento. El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De éstos, las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico. (Ramalho, 1983).

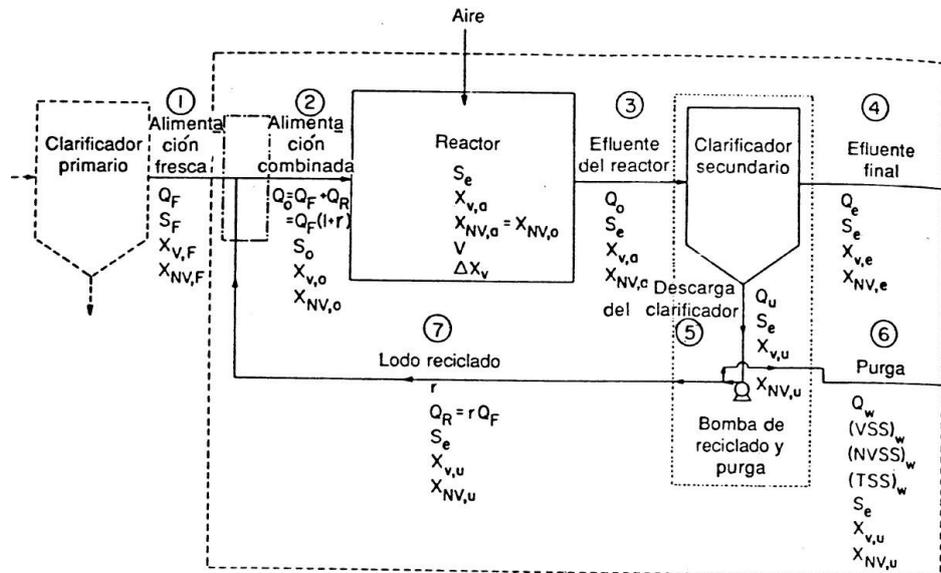


Ilustración 1. Proceso de lodo activo. Fuente: (Ramalho, 1983).

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales. (Fernández Alba, 2006)

Al tanque biológico llegan las corrientes procedentes de la etapa de tratamiento primario y la de retorno de lodos, a la vez que se suministra oxígeno al sistema, mediante aireación. (Gil Rodríguez, 2013).

Es en esta etapa del proceso donde las bacterias atacan a los agentes contaminantes y así logran reducir la DBO que trae el agua residual, se logra una sedimentación o clarificación del agua luego de este proceso, ejercerá una DBO en las aguas residuales y este será incompleto.

El funcionamiento de los lodos activados para la depuración de las aguas residuales está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación

prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas residuales, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez. Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos, y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante. (Gil Rodríguez, 2013)

2.1.3 Tratamiento Terciario:

El tratamiento terciario (al que se conoce también como << Tratamiento avanzado >> es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. Muchos de estos procesos, actualmente no se emplean demasiado en el tratamiento de las aguas residuales, pero su empleo a mayor escala está previsto conforme las exigencias de calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro. (Ramalho, 1983)

Desde que a mediados del siglo XIX se descubrieron los efectos del cloro para potabilizar el agua, la incidencia de las más devastadoras enfermedades infecciosas transmitidas por el agua como son cólera, fiebres tifoideas, disentería, gastroenteritis, etc., han disminuido, hasta su práctica erradicación. En la revista Life se asevera que LA FILTRACION DEL AGUA POTABLE Y EL EMPLEO DEL CLORO ES PROBABLEMENTE EL AVANCE DE SALUD PUBLICA MÁS SIGNIFICATIVO DEL MILENIO. Los países desarrollados deben al cloro su destacada contribución en el aumento en 30 años de la expectativa de vida de sus ciudadanos desde que se utiliza el cloro en la potabilización de las aguas. (Gil Rodríguez, 2013).

Los objetivos de la cloración se resumen como sigue (Ramalho, 1983):

- Desinfección. Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- Reducción de la DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales (azúcar de caña, industrias de conservas, centrales lecheras, pasta y papel, textiles, etc.).
- Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganeso a mangánico).

2.2 Tratamiento de lodos

Unos de los principales problemas en el tratamiento de aguas y de aguas residuales es el relacionado con el tratamiento y disposición de lodos. En los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua; se deshidratación y disposición final pueden representar un alto porcentaje del costo del tratamiento del agua. En plantas de tratamiento de aguas residuales el costo del tratamiento y disposición de lodos puede representar hasta un 50% del valor del tratamiento total (Romero Rojas, 2008).

En las plantas de tratamiento que funcionan con un proceso de lodos activados, aproximadamente un 2/3 de la DBO soluble separada corresponde a compuestos orgánicos oxidados para producir la energía de mantenimiento, pero el 1/3 restante corresponde a células microbianas que se encuentran en el retorno de lodos. lógicamente estos lodos no deben evacuarse sin un tratamiento adecuado previo, ya que estarían en contradicción con los objetivos del tratamiento de las aguas residuales.

2.2.1 Manejo de lodos

Ya se ha visto que uno de los productos de la biotransformación de las aguas residuales es el lodo o biomasa, genéricamente conocidos como lodos secundarios

pues se separan en el sedimentador secundario. Otra clase de lodos también puede ser obtenida de la sedimentación primaria, donde se separan, para su tratamiento posterior, las partículas de materia orgánica que a menudo traen las aguas residuales, mediante la gravedad. También pueden ser obtenidos lodos primarios con la flotación del agua residual cruda, es decir, sin haber sido objeto de biotransformación. Los lodos primarios son pues materia orgánica particulada, en estado “crudo”, mientras los lodos secundarios son biomasas, conglomerados de bacterias producto (y también causa) del tratamiento de las aguas residuales. A veces los dos tipos de lodos se mezclan, produciendo un lodo “combinado”, pero cuando la escala lo permita, se deben tratar separadamente, pues sus características físicas, químicas y biológicas son distintas (Orozco Jaramillo, 2014).

2.2.2 Características de los lodos

El lodo proveniente de la sedimentación primaria es relativamente diluido, con una concentración característica de sólidos del 5%. En la *tabla 1* se presentan los datos de la calidad habitual de los biosólidos de exceso de lodos activados. Los valores de la capacidad fertilizante de un lodo son relativamente bajos con una relación NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) (porcentaje en peso) de 2.5:1.6:0.4. Una mezcla de fertilizante tendrá NPK de 10:10:10. Los metales en los lodos también son importantes en la selección de la utilización del lodo o su disposición. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Dentro de las características importantes de los lodos se encuentran la cantidad esperada, el contenido de nutrientes y de sustancias químicas y el contenido de metales pesados, Las características de los lodos varían con el tipo de operación o proceso de las aguas residuales que los produce, así como con la concentración del agua residual.

Tabla 1. Composición característica de los lodos

Componente	Unidad	Primario sin tratar	Biosólidos de exceso de lodos activados
Sólidos totales(ST)	%	5	0,83-1,16
Sólidos Volátiles	% de ST	65	59-88
Nitrógeno como N	% de ST	2,5	2,4-5,0
Fósforo como P ₂ O ₃	% de ST	1,6	2,8-11,0
Potasio como k ₂ O	% de ST	0,4	0,5-,0,7
pH		5,0-8,0	6,5-8,0
Hierro	% de ST	2,5	

*Tomado de Tchobanoglous y Burton (1991)

Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1-6%); por ello, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. El problema principal en el tratamiento de lodos radica, por tanto, en concentrar los sólidos mediante la máxima remoción posible de agua y en reducir su contenido orgánico. Los lodos provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda. (Romero Rojas, 2008).

Los metales en los lodos también son importantes en la selección de la utilización del lodo o su disposición. En la *tabla 2* se presentan las concentraciones características de metales presentes en los lodos residuales domésticos.

Tabla 2. Concentración de metales pesados en los lodos domésticos

Concentración de metales pesados en los lodos domésticos*
Unidades: mg/L Kg

Componente	Característico	Media EPA
Arsénico	10	10
Boro	33	
Cadmio	16	10
Cobalto	4	30
Cromo	890	500
Cobre	850	800
Mercurio	5	6
Manganeso	260	260
Molibdeno	30	4
Níquel	82	80
Plomo	500	50
Zinc	1740	1700

*Tomado de U.S EPA(1987) y Sommers(1980)

2.2.3 Lodo primario

Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal. (Limón Macías, 2013)

Los lodos primarios espesados se pueden estabilizar químicamente añadiendo algún producto químico que inhiba la acción bacteriana pero ello incrementa la cantidad de los lodos e incorpora químicos que pueden convertir los lodos en residuos peligrosos que son de difícil y costosa disposición final. Siempre que sea posible la estabilización química se debe evitar. Mejor es digerirlos, lo que se efectúa en un digestor que puede ser aerobio o anaerobio. (Orozco Jaramillo, 2014).

Una vez estabilizados por procesos químicos o digestión deben de ser deshidratados en un filtro prensa, centrifuga, etc. a concentraciones entre el 15-30%, donde los lodos o biomasa se convierten en materia sólida y puede ser manejado como residuo sólido hasta su disposición final.

2.2.4 Lodo secundario

El lodo secundario es rico en lodo activado, el cual cierto porcentaje es regresado al tanque de aireación (retorno de lodos). En el proceso de tratamiento biológico depende en gran medida del tiempo de retención celular, es conveniente alcanzar una vida del lodo constante, para lograrlo, el lodo secundario en exceso debe de eliminarse de la planta de tratamiento de lodo. La cantidad de lodos depende de la edad de lodos en el reactor biológico, que no es otra cosa que el tiempo promedio que el lodo o biomasa permanece en el reactor antes de que este sea arrojado.

Para lodos activados con bajo tiempo de retención, los lodos secundarios están sin digerir o solo parcialmente digeridos, por lo que son de baja compactación, del orden del 1.0% sin espesar y del 3.0% espesados. Después de digeridos la concentración aumenta. Estos lodos se deben entonces deshidratar para ser dipuestos como residuos sólidos. También pueden estabilizarse los lodos secundarios parcialmente digeridos

en forma química, pero esto se debe evitar a toda costa, pues se aumenta la cantidad y se convierte en un residuo sólido peligroso. (Orozco Jaramillo, 2014).

2.2.5 Producción de lodos

La cantidad de lodos activados producidos depende del peso de los sólidos del lodo y de su concentración. La masa de lodo activado producido en el proceso es función de (Romero Rojas, 2008):

- La cantidad de materia orgánica removida en el proceso.
- La masa de microorganismo en el sistema.
- Los sólidos suspendidos biológicamente inertes del afluente al proceso.
- La pérdida de sólidos suspendidos en el efluente.

La producción típica de las aguas residuales domésticas se presenta en la tabla 3 y la concentración de sólidos se presenta en la *tabla 3*.

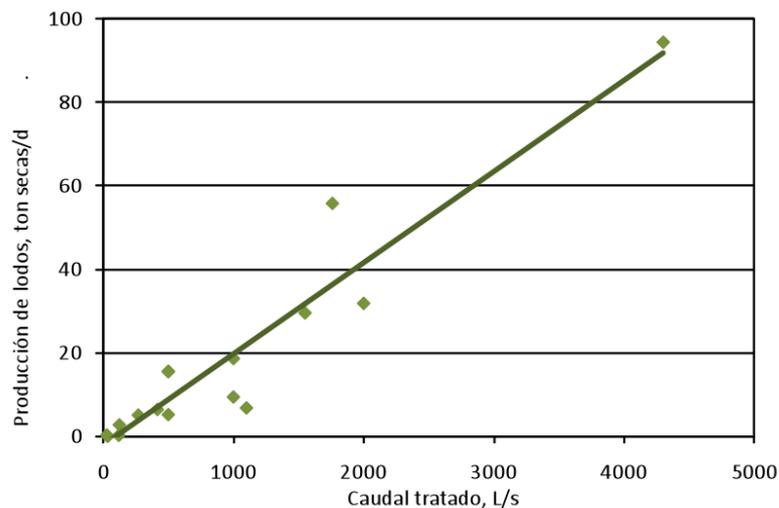


Ilustración 2. Producción de lodos. Fuente: (Barrios Pérez, 2009).

Tabla 3. Producción de lodos en aguas residuales domésticas.

PROCESO	CANTIDAD DE LODOS		
	Ton/10 ³ m ³	m ³ /1000 hab, d	m ³ /10000 ³ m ³ ARD
Sedimentación primaria			
No digeridos	3,3	1,1	2,95
Digeridos y deshidratados en lechos de secados	0,25	0,16	-
Digeridos y deshidratados en filtros de vacío	0,36	0,28	-
Filtros Percoladores	0,84	0,28	0,75
Lodos Activados			
Lodo húmedo	19,8	7,31	19,4
Lodo deshidratado en filtros de vacío	1,5	0,54	-
Sedimentación primaria más lodos activados			
No digeridos	7,7	2,6	6,9
No digeridos y deshidratados en filtros de vacío	1,55	0,56	1,48
Digeridos y deshidratados en lechos de secado	0,46	0,51	-
Digeridos y deshidratados en filtros de vacío	0,92	0,33	-

Fuente: (Orozco Jaramillo, 2014).

La producción de lodos activados es función de la edad de lodos y de la relación alimento/microorganismos. A medida que la edad de lodos aumenta y la relación alimento/microorganismos disminuye, la producción de biomasa disminuye. El manejo de lodos es caro y, por tanto, los costos pueden reducirse usando valores altos de edad de lodos o valores bajos de relación alimento/microorganismos. Sin embargo, hay factores opuestos como la necesidad de volúmenes de aireación mayores, requisitos adicionales de oxígeno y la variación del valor óptimo de la edad de lodos y de la relación de alimento/microorganismos para máxima eficiencia del proceso. (Rojas, 2008).

2.2.6 Estabilización de lodos

La estabilización de lodos residuales es un proceso que tiene las ventajas de reducir la masa y volumen de éstos, facilitar el desaguado y reducir los organismos patógenos y olores, esto se logra con la descomposición de las cédulas. (Limón Macías, 2013).

El principal objetivo de la estabilización es el de convertir el lodo tratado en menos oloroso y putrescible, así como reducir el contenido de organismo patógeno. Algunos procedimientos utilizados para lograr este objetivo también pueden resultar en cambios básicos en el lodo. La selección de un cierto método estriba principalmente en el procedimiento de disposición final planeado, Si va a desaguar e incinerar el lodo, frecuentemente no se emplea un procedimiento de estabilización. (Agua, 2007).

No obstante las ventajas que trae la estabilización de lodos, estos procesos presentan varias dificultades, siendo la más importante, el costo de inversión y operación. La digestión anaerobia es el proceso con mayores ventajas, sin embargo, su costo de construcción es más elevado, los digestores requieren una gran cantidad de equipos periféricos, requiere que los lodos sean calentados, el agua en el lodo contiene una elevada concentración de amoníaco y se desestabiliza si no se lleva un buen control de la operación. Este tipo de estabilización, aunque tiene un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos. (Limón Macías, 2013).

Estabilización aeróbica se puede realizar simultáneamente en plantas de lodos activos donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo. En la digestión aeróbica los microorganismos están en fase respiratoria donde los materiales contenidos en las células son oxidados, teniendo como resultado una reducción de la materia orgánica degradada biológicamente. De esta manera, la estabilización aeróbica del exceso de lodo (incluyendo lodos primarios) genera un consumo de energía. Adicionalmente, esta fase necesita un volumen extra en el reactor. La digestión de lodo se lleva a cabo por los organismos anaeróbicos en ausencia de oxígeno libre. Los organismos anaeróbicos y facultativos rompen la estructura molecular compleja de estos sólidos liberando las "uniones" del agua y dando lugar a oxígeno y nutrientes para el crecimiento. Los procesos de estabilización anaeróbica trabajan a temperaturas normales ($< 40^{\circ}\text{C}$) o dentro de un rango de bacteria termófilas, donde se puede alcanzar $50\text{-}65^{\circ}\text{C}$, debido a la generación del calor de los procesos bioquímicas. La estabilización química de los lodos es la oxidación húmeda y estabilización termal

bajo altas condiciones de temperatura y presión, son aplicadas con menor frecuencia. (Lenntch, 2009).



Ilustración 2. La digestión de los lodos de manera anaeróbica. Fuente: (klaerwerk-online.de)

2.2.7 Espesamiento de lodos

El espesamiento es, generalmente, la primera etapa del tratamiento de lodos; es un método desarrollado alrededor de 1950. Se utiliza espesamiento por gravedad o por flotación con aire disuelto para mejorar la operación de los digestores, rebajar el costo de la digestión y reducir la operación de los digestores, rebajar el costo de la digestión y reducir el volumen del lodo, normalmente para reducir el costo de los tratamientos o procesos aplicados después del espesamiento. La sedimentación es un método común para separar sólidos de líquidos en tratamiento de aguas. Cuando la separación es para producir un efluente libre de sólidos se llama clarificación y cuando es para producir un lodo concentrado se denomina espesamiento. (Romero Rojas, 2008).

El objetivo principal del espesamiento es, concentrar los lodos primarios y secundarios para que el volumen resultante se reduzca lo máximo posible. Básicamente en todos los procesos biológicos donde haya producción de lodos residuales primarios o secundarios es necesario la unidad de espesamiento.

Mediante el espesamiento de los lodos se consigue una reducción del volumen de aproximadamente un 30 – 80 % antes de cualquier otro tratamiento. En

plantas de tratamiento de menor tamaño, con alimentación regular de lodo, el espesamiento tiene lugar generalmente directamente en el tanque de almacenamiento de los lodos. El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente. (Lenntch, 2009).

En las plantas de tratamiento de mayor tamaño, existen tanques especiales de espesamiento de lodos. Estos tanques están equipados con rodillos de rotación vertical, que crea micro canales en el lodo para un mejor escurrido. La importancia de las máquinas de espesamiento tiene lugar en aquellos lodos no estabilizados, que pueden pudrirse durante el almacenamiento. (Romero Rojas, 2008)

2.2.8 Secado de lodos

EL diseño de las instalaciones adecuados para el secado de lodos implica más que la selección del equipo de un catálogo; requiere del análisis sistemático de una amplia gama de opciones de sistema, características de lodos y variables específicas del sitio, incluyendo otros procesos de tratamiento. (Agua, 2007)

Este tipo de tratamiento genera grandes costos de inversión, de operación y mantenimiento debido que algunas veces es necesario colocar algún polímero o un material coagulante para tener una mejor agrupación de las partículas y lograr incrementar la eficiencia del proceso.

La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante lechos de secado), durante un largo periodo de tiempo. Más rápidamente, aunque en más pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso como las prensas (filtros de prensa, deshidratadores mecánicos) y centrifugación. Para una buena deshidratación, el tamaño y firmeza de los aglomerados del lodo son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión. Se suele utilizar floculantes para alcanzar mayores niveles de materia seca en las máquinas de deshidratación y deben ser especialmente coordinados con el lodo. (Lenntch, 2009)

La opción del proceso más apropiado de deshidratación es importante la consideración las condiciones limitantes como: cantidad, estructura del lodo, disposición, regulaciones, disponibilidad, personal, etc. (Orozco Jaramillo, 2014).

El proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas desaguados de lodos que buscan reducir el contenido del agua del lodo a menos de un 85%. En la selección del método de secado de un lodo hay que tener en cuenta la naturaleza del lodo, los procesos subsecuentes de tratamiento y el método de disposición final. Los objetivos del secado de lodos son, principalmente, los siguientes. (Romero Rojas, 2008):

- Reducir los costos de transporte del lodo al sitio de disposición. (Romero Rojas, 2008)
- Facilitar el manejo del lodo. Un lodo seco permite su manejo con cargadores, garlanchas, carretillas, etc. (Romero Rojas, 2008)
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración. (Romero Rojas, 2008)
- Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario. (Romero Rojas, 2008)
- En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económicos su tratamiento posterior y su disposición final. (Romero Rojas, 2008)

Mediante el secado de los lodos, se consigue reducir el peso de los lodos. El secado se crea mediante la evaporación natural del agua que existe en los lodos. El secado de los lodos es producido generalmente mediante procedimientos basados en contacto, convección o radiación. No es necesario el suministro de grandes cantidades de aire porque el calor suministrado por contacto entre el producto que se descarga y las paredes calientes es suficiente. Solo se requiere una cantidad de flujo de gas mínima para la evacuación del vapor. Esto tiene como ventaja que el gasto de aire de salida es bajo. (Lenntch, 2009).

La deshidratación por lechos de secado es la más usada en Latinoamérica debido a que las condiciones climáticas son muy aceptables para este proceso. Se debe de establecer un proceso de evapo-transpiración/ precipitación, si el lecho es abierto o de evapo-transpiración, si el lecho es cerrado. (Orozco Jaramillo, 2014)

Debido al alto nivel de inversión y los costes operacionales de las plantas de secado, este proceso de secado solo se aplica en el caso de grandes plantas de tratamiento de aguas residuales. (Orellana León, 2015).

2.3 Arcilla expandida

Cuando ciertas arcillas y esquistos son calentados hasta un estado semiplástico, a veces llamado “el punto de vitrificación incipiente”, se expanden o “hinchán” hasta siete veces su volumen original, debido a la formación de gases dentro de la masa a la temperatura de fusión. La estructura celular así formada se conserva al enfriarse, y el producto en esas condiciones puede ser usado como un agregado de peso ligero. Para la producción de tal agregado, la arcilla debe de ser ablandada a una temperatura que pueda alcanzarse y mantenerse económicamente, y al mismo tiempo debe contener componentes minerales que produzcan gases a esa temperatura. Si tales componentes minerales no se encuentran presentes en forma natural en la arcilla, puede ser incorporado a ella durante la fabricación. (Short & Kinniburgh, 1967).

Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en naves cerradas para su homogenización y secado. Una vez seca, la arcilla se muele hasta obtener un polvo denominado crudo. (Valdez Guzmán, Suárez Alcivar, & Ing. Proaño Cadena).



Ilustración 3. Bolas de Arlitas.

2.3.1 Requisitos químicos para que una arcilla sea capaz de expandirse

El aumento de tamaño de la arcilla se debe a la expansión de los minerales, que son: Esméctica y Vermiculita, y éstas, a su vez, se subdividen en: Saponita, Montmorillonita y las vermiculitas trioctoedrica y dioctoedrica. Lo importante de los minerales arcillosos para que se dé lugar a la expansión es que prevalezcan: la Montmorillonita, la saponita o la vermiculita. El aumento de tamaño de la arcilla se debe a la expansión de los minerales, que son: Esméctica y Vermiculita, y éstas, a su vez, se subdividen en: Saponita, Montmorillonita y las vermiculitas trioctoedrica y dioctoedrica. Lo importante de los minerales arcillosos para que se dé lugar a la expansión es que prevalezcan: la Montmorillonita, la saponita o la vermiculita. (Yagual Vera & Villacis Apolinario, 2015).

Es indispensable que la arcilla se caliente muy rápidamente en la temperatura de operación y es muy conveniente que tal grado de temperatura requerido se puede lograr en un solo horno. Un horno de estas características ha sido diseñado y construido en el Building Research Station, Consiste en un tunel de 11.5 cm, de ancho y de 43.2 cm. De largo, calentado por seis barras de “crucillite”. Hay zonas de temperatura entre 120 y 1350°C. Una muestra separada para cada zona de temperatura (que consta de dos granos gruesos) se quema durante cinco minutos y después es removida rápidamente del horno. Cuando se enfría, uno de los dos granos del material se pega completamente a una tarjeta impresa y el otro se rompe diametralmente para exponer su interior y entonces también se pega al espacio apropiado de la tarjeta, En esta forma, se puede determinar la temperatura óptima para hinchar un determinado material. (Short & Kinniburgh, 1967).

2.4 Hormigón ligero

Conociendo la importancia de la resistencia del agregado grueso a la hora de buscar una resistencia elevada, puede sorprender el uso de un agregado ligero para elaborar un hormigón de alto desempeño. Los agregados ligeros son porosos, no muy fuertes y pueden triturarse muy fácilmente. Sin embargo, disminuir la masa unitaria de hormigones de 500-600 kg/cm² a valores cercanos de 2000 kg/cm³ puede

representar un avance tecnológico toda vez que un decremento en la masa deseada de una estructura particular puede resultar en ahorros significativos dentro del costo total de la estructura. (Novoksshchenov & Whitcomb, 1990).

Se ha demostrado que es posible elaborar hormigones ligeros de alto desempeño con una resistencia a la compresión entre 500 y 600 kg/cm². (Malhotra, 1990).

Otra dificultad que surge al elaborar un concreto de alto desempeño ligero es la selección del estado en el cual será utilizado: seco, presaturado o un estado intermedio. Algunos investigadores promueven el uso del agregado totalmente seco tomando en cuenta la cantidad de agua que absorberán durante el mezclado y el transporte, pero Novokshchenov y Whitcomb (1990) consideran que esto puede realizarse excepcionalmente con agregados ligeros de baja absorción. Otros investigadores prefieren saturarlos en agua de modo que no absorban agua de la mezcla. (Malhotra, 1990; Holff & Elimov, 1995). El agua que ha sido absorbida puede considerarse como una fuente adicional de agua para la hidratación posterior en mezclas de muy baja relación agua cemento, la cual disminuirá significativamente la contracción autogena. Desde un punto de vista claro práctico, los agregados gruesos y ligeros son rociados constantemente antes del mezclado. (Holff & Elimov, 1995).

Existen tres formas de producir hormigones livianos, el primero es reemplazando el agregado grueso por el agregado liviano, la segunda forma de obtener hormigones livianos es utilizando aditivos que incluyen aire en la mezcla provocando muchos vacíos dando como resultado un hormigón poroso y por último el diseño de hormigón sin finos. (Yagual Vera & Villacis Apolinario, 2015).

El hormigón ligero se prepara con agregados livianos como el espumafon, arcilla expandida, entre otros, también se puede usar sustancias formadoras de gas o espumas, que aumentan la porosidad y por ende reduce su peso específico. En unos casos se puede hacer un reemplazo de todo el agregado por aire.

La preparación de este tipo de hormigón, se puede complicar debido al gran porcentaje de absorción de algunos agregados livianos, como la arcilla expansiva y hay que tomar en cuidado que al absorción de este agregado, no le quite el agua que necesita el cemento, lo que ocasionará que baje aún más la resistencia del mismo y

afectando su trabajabilidad, pero la trabajabilidad puede aumentar agregando más agregado fino o haciendo inclusiones de aire de alrededor de 4-6%.

Los agregados livianos usados en la elaboración de hormigones, han sido adoptados en consideraciones a su estructura celular, que ofrece una de las principales ventajas que es la baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico, a la par de ciertas propiedades acústicas, pues amortiguan las vibraciones, La estructura del interior, se produce generalmente con altas temperaturas, originando gases que causan expansión. La capacidad de absorción de agua y el grado de aislamiento térmico no vienen fijados solamente por el porcentaje de burbujas, sino también por la naturaleza de estas y por su cantidad, tamaño y distribución. (Valdez Guzmán, Suárez Alcivar, & Ing. Proaño Cadena, Hormigones Livianos).

Además, los áridos ligeros deben tener los granos de una densidad lo menor posible, con una rigidez y una resistencia propia suficientemente elevada y de ser de calidad permanente y uniforme.

2.4.1 Agregado fino

El agregado ligero de alto desempeño se ha elaborado utilizando ya sea arena natural, arena ligera o mediante una combinación de ambas. Es obvio que el uso de arena ligera o arena natural tiene un impacto directo en la trabajabilidad de la mezcla. La arena ligera genera mezclas ásperas que son significativamente menos trabajables que aquellas en las cuales la arena ligera ha sido parcial o totalmente sustituida por arena natural. Sin embargo. Al utilizar arena natural, es difícil disminuir la masa unitaria del hormigón fresco a valores inferiores a 2000 kg/cm³; mientras que con la arena ligera puede disminuirse a valores cercanos a los 1850 kg/cm³. (Francis, 1998).

2.4.2 Sistema cementante

Se han utilizado diferentes sistemas cementantes al elaborar concreto de alto desempeño ligero, pero la mayoría de las veces se introduce humo de sílice en la mezcla en n proporción del 7 al 10% del total de las masas del sistema cementante.

Se recomienda el uso de humo de sílice para incrementar la resistencia a la compresión final de la mezcla, pero también para disminuir el riesgo de segregación ya que la pasta de mortero se torna más viscosa (Novoksshchenov & Whitcomb, 1990). En algunas mezclas entre un 20 y un 30% del cemento se reemplazó por ceniza volante, debido, esencialmente, a razones económicas. El uso racional de humo de sílice y ceniza volante como sustitutos del cemento combina la rápida y elevada puzolanidad del primero, con la más lenta de la segunda. Se han utilizado los cementos tipo I y III, encontrándose que los cementos de alta resistencia inicial generan hormigones con una resistencia a la compresión más alta, tanto a una edad temprana como avanzada. (Francis, 1998).

2.4.3 Usos del hormigón ligero de alto desempeño

Hasta ahora los hormigones ligeros de alto desempeño han sido utilizados en construcciones marítimas esencialmente por dos razones: la primera, por la mayor flotabilidad que proveen a las plataformas, tanto en el muelle seco como durante la operación de remolque; y en segundo lugar, por su alta resistencia específica. La permeabilidad y la difusividad de los cloruros en hormigones ligeros de alta resistencia. Esta segunda ventaja hace atractivo el uso del hormigón ligero de alto desempeño en la construcción de travesaños con longitudes de claros grandes, del tipo usado en puentes. Algunas estructuras mayores han sido ya construidas con hormigón ligero de alto desempeño. Una de las primeras fue la plataforma marina móvil “ Mar de Glomar Beaufort I”, construida en seco en un muelle de Japón y remolcada posteriormente a través del océano Pacífico y el estrecho de Bering, y luego instalada en el mar de Beaufort (LaFraugh 1987). El problema principal que presentó esta plataforma marina fue el tener que ser remolcada por el estrecho de punta Barrow, en el mar de Beaufort (norte de Alaska), cuando el tirante de agua se encontraba reducido. No hubiera sido posible remolcar una plataforma construida con concreto de peso normal por este lugar debido a la falta de tirante. Algunos datos relacionados con los agregados y el hormigón utilizando para construir esta plataforma marina se encuentran disponibles en la LaFraugh (1987). La plataforma marina Hibernia fue construida a base del llamado hormigón semi-ligero, en el cual la mitad del volumen de los agregados gruesos fue hormigón ligero. (Francis, 1998).

2.4.4 Acerca de la absorción de los agregados ligeros

Un punto de confusión al tratar con agregados ligeros es el valor de la absorción. Por lo general los agregados ligeros tiene una absorción mucho mayor que la de los agregados de peso normal y el problema es cómo medirla adecuadamente. Algunas veces, el valor de la absorción en 10 minutos se mide para fines del diseño de mezclas cuando se elaboran hormigones ligeros, porque se reconoce, a partir de la experiencia, que los agregados ligeros secos nunca se saturan totalmente al utilizarse en un hormigón ligero. Pero si por alguna razón uno de los valores tiene que determinarse y ser utilizado en cálculos, se debe definir con claridad tanto su valor como la manera de medirlo. Por ejemplo, LaFraugh (1987) explica cómo el agregado ligero se mezcló con un 4% de agua adicional para acomodar la absorción durante el mezclado y la entrega. (Francis, 1998).

2.4.5 Acerca del contenido de agua de los agregados ligeros al elaborar hormigón

Otro punto de controversia al utilizar agregados ligeros para elaborar hormigones de alto desempeño es decidir en cual estado seco debe utilizarse el agregado ligero: Completamente seco (LaFraugh, 19987), completamente saturado (Holff & Elimov, 1995), o en un estado intermedio (Zhang & Gjorv, 1990). Mientras que los dos primeros casos están bien definidos y no son controversiales, en el caso de sugerirse algún estado intermedio es muy importante precisar el contenido de agua de los agregados ligeros y la forma de obtenerlo. (Francis, 1998).

Comprensiblemente, cuando se utiliza agregados ligeros en estado seco, estos absorben parte del agua de la mezcla, lo cual afecta el revenimiento y la trabajabilidad, y no constituye una situación ideal al momento de elaborar hormigón ligero.

2.4.6 Hormigón liviano con arcilla expandida

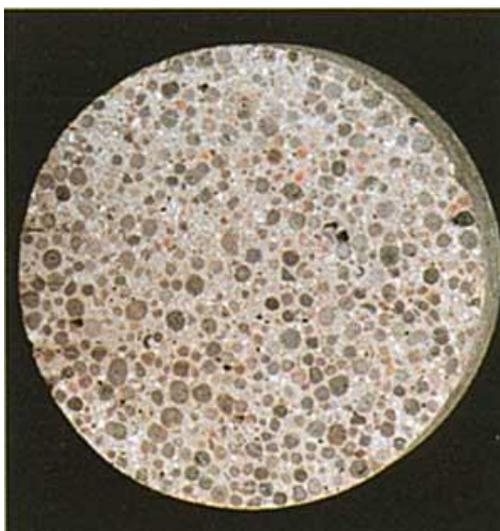


Ilustración 4. Sección de una probeta de hormigón ligero con árido de arcilla expandida. Fuente: Internet

La arcilla expandida es un material inerte e incombustible. Este material produce un aislamiento térmico y acústico, que a la vez permite el paso del vapor de agua, se consigue al someter arcillas seleccionadas a un proceso de cocción a 1.200 °C en grandes hornos rotatorios. Mediante este tratamiento, la arcilla se transforma en gránulos esféricos porosos y ligeros, con una superficie exterior muy resistente y un interior formado por innumerables burbujas que contienen aire estancado. Por tanto, el hormigón ligero se basa en la sustitución de áridos pesados por arcilla expandida para conseguir una menor densidad a igualdad de resistencia. Se consigue de este modo una reducción de hasta un 40% en peso y una excelente resistencia a compresión. Su ligereza, su uniformidad y su poder aislante, hacen posible su utilización tanto en estructuras in situ como prefabricadas, permitiendo resolver problemas de grandes luces, transporte, elevación y otros, a la vez que aporta un considerable ahorro de armaduras. Debido a la superficie rugosa y en parte porosa de la arcilla expandida la adherencia del cemento a los granos del árido es mayor en el hormigón ligero, aumentando así la resistencia a tracción, a igualdad de resistencia a compresión. En cuanto a la puesta en obra, se pueden emplear todos los medios utilizados para el hormigón tradicional, teniendo en cuenta pequeños detalles, como la altura de caída y el vibrado. (WEBER, 2016).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales la joya.

Con la finalidad de lograr la elaboración del hormigón ligero de arcilla más adiciones de lodo residual, se obtuvo el lodo residual del sistema de depuración de aguas residuales domesticas (SDARD) ubicada en la ciudadela La Joya en la vía a Samborondón.

La PTARD ‘‘La Joya’’ tiene un caudal aproximado de 600 m³/día, 250 mg/L de DBO5 (característica de DBO de una ARD.), funciona con un proceso de lodos activados, cuenta con un tratamiento primario de rejillas, para luego pasar a la laguna de aireación, clarificación secundaria y finalmente un sistema terciario, esto por el lado del flujo del agua residual.



Ilustración 5. Vista panorámica de la PTARD LA joya. Fuente: Autor

Por la línea de los lodos, estos son extraídos del fondo del cono del clarificador secundario, donde una parte es llevada a la laguna de aireación, por medio de bombas de lodos, y el lodo de desecho, es llevado a un tanque llamado ‘‘digestor de lodos’’, donde en teoría los lodos se digieren, y finalmente, son llevados a un tanque de secado para reducir la concentración de humedad en los mismo.



Ilustración 6. Lodos deshidratados. Fuente: Autor

Los lodos que se encontraron en los lechos de secado tenían aproximadamente dos meses expuestos a los rayos UV, con un porcentaje de humedad cercano al 7% y con un espesor de capa promedio de 10 cm.



Ilustración 7. Recolección de los lodos, con un porcentaje de humedad alrededor del 6-8%. Fuente: Autor

La recolección del material de los lechos de secado, se realizó en sacos para ser transportados fácilmente al sitio experimental la cámara de secado, donde será ingresado en la cámara de secado para lograr bajar aún más el contenido de humedad, para luego poder proceder a moler el lodo residual y usarlo como materia prima, para realizar el agregado que será parte del hormigón ligero.



Ilustración 8. Sacos de lodos listos para ser transportados. Fuente: Autor

Se obtuvieron 19 de lodo residual de una cámara de secado, el cual fue transportado con dos fundas plásticas en el interior de cada saco.



Ilustración 9. Lodos residuales iniciando el proceso de secado. Fuente: Autor

Una vez el lodo residual es retirado de la cámara de secado, este es ensacado nuevamente para facilitar la trabajabilidad del material, para luego pasar por el proceso de trituración y obtener un material fino, donde el objetivo es que se mezcle fácilmente con la arcilla, y así obtener un material perfectamente balanceado.



Ilustración 10. Proceso de trituración de los lodos residuales. Fuente: Autor

3.2 Arcilla de la formación piñón

Para la extracción de la arcilla que es la mayor parte de la materia prima, para la elaboración de los agregados para el hormigón ligero, el sitio seleccionado está ubicado en el noroeste de la ciudad de Guayaquil, en una zona con topografía ondulada, donde las depresiones se han rellenado con sedimentos arcillosos erosionados de las laderas de las elevaciones constituidas por acillas residuales de la formación Piñón.

Las arcillas expansivas corresponden a sedimentos erosionados hacia las zonas bajas, provenientes de laderas meteorizadas que pertenecen a los basaltos de la formación Piñón.

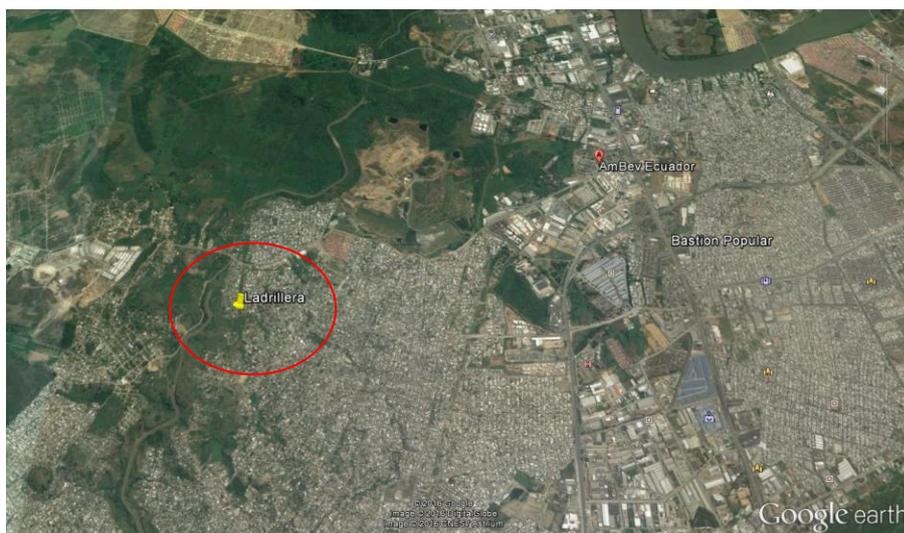


Ilustración 11. Ubicación de la ladrillera. Fuente: Google Earth.



Ilustración 12. Ubicación de la ladrillera-zoom. Fuente: Google Earth.

En este lugar se fabrican ladrillos artesanales de arcilla, donde se le agrega aserrín para que este ayude a la cocción del mismo, formando pirámides de ladrillos, se logra un horno artesanal.



Ilustración 13. Arcilla de la formación Piñón. Fuente: Autor

Este material es muy abundante. Para efectos de esta investigación podemos indicar que es una de las arcillas expansivas de la ciudad de Guayaquil.

3.2.1 Intervención con la comunidad

La participación de la comunidad en los trabajos de muestreo y cocción del material, permitió que se pueda aprovechar los conocimientos que ya poseen los habitantes del

lugar, y puedan diversificar sus productos, que tradicionalmente han sido ladrillos. Su contacto con la Universidad les ha dado una nueva alternativa.

La comunidad de La Ladrillera se ha asentado y consolidado en los últimos 15 años, y requiere de nuestra preocupación y de la vinculación con la Universidad para poder continuar.



Ilustración 14. Participación de la comunidad. Fuente: Autor

Este material ya es utilizado por la comunidad para la fabricación de ladrillos artesanales.



Ilustración 15. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil.

Fuente: Autor

Durante esta Investigación, la comunidad se involucró desde los muestreos del material apropiado hasta el alquiler de sus hornos para coaccionar el material preparado por nosotros.

3.2.2 Muestro y preparación de la arcilla expansiva de la formación piñón



Ilustración 16. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil.

Fuente: Autor

Procesos de muestreo con participación de la comunidad de La Ladrillera. Estas arcillas sedimentarias de las depresiones mencionadas, constituyó la fuente principal del agregado artesanal con adiciones de lodos residuales, que se procedió a fabricar.



Ilustración 17. Muestreo de Arcilla de la formación Piñón de Guayaquil.

Fuente: Autor



Ilustración 18. Colocación de las primeras muestras Arcilla de la formación Piñón, en la cámara de secado. Fuente: Autor

La arcilla de la formación Piñón fue esparcida por la cámara de secado que funciona por efecto invernadero como se muestra en la Ilustración 14, ahí pasaran aproximadamente de 1-3 días, dependiendo de la temperatura ambiental.



Ilustración 19. Arcilla de la en proceso de secado. Fuente: Autor

3.3 Selección del experimental

Para la elaboración de la cámara de secado, piscina de curado y colocación de la hormigonera, se escogió la parte de atrás de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.



Ilustración 20. Lugar experimental, Facultad de ingeniería civil. Fuente: Autor

3.4 Proceso de la elaboración de los agregados para el hormigón.

La materia prima se introdujo en la cámara de secado, donde por efecto invernadero se logra llegar temperaturas que fácilmente superan los 58 C en un día caloroso y se puede bajar concentraciones de humedad de 20% inicialmente a un 2-3% en un tiempo de 1-3 días, para luego triturar el material, para así obtener un compuesto fino, para que así, la mezcla de estos materiales sea lo más homogénea posible.



Ilustración 21. Material fino de lodo residual, antes y después de ser triturado.

Fuente: Autor



**Ilustración 22. Arcilla de la formación Piñón después del proceso de secado.
Fuente: Autor**



**Ilustración 23. Lodo residual de la Joya después del proceso de secado. Fuente:
Autor**

Estos dos materiales fueron mezclados con la siguiente dosificación:

Tabla 4. Configuración del agregado

Configuración del agregado*

Unidades:%

Componente	Arcilla	Lodo residual
Arena+Grava tipo I	100	0
Arena+Grava tipo II	90	10
Arena+Grava tipo III	80	20
Arena+Grava tipo IV	70	30

*Fuente el autor.

Con la configuración de la tabla 3.1, se comenzó con la preparación de la arena+grava, en la mezcladora de sólidos, que se muestra a continuación (figura 3.8). Donde se le iba agregando paulatinamente agua en forma de neblina, para ir formando el material granuloso, con diferentes diámetros, desde arena hasta diámetros de 1-2 cm (figura 3.9).

Una vez teniendo en cuenta la elaboración de las arenas+gravas de arcilla, con su respectivo porcentaje de lodos residual, se procedió a secar el material en la cámara de secado, para luego ser llevadas a los hornos artesanales y lograr la cocción de las arenas+gravas de arcilla con adiciones de lodo residual.



Ilustración 24. Arena+Grava lista para ingresar al horno. Fuente: Autor



**Ilustración 25. Arena+Grava con 90% de arcilla y 10% de lodos residuales.
Fuente: Autor**



**Ilustración 26. Arena+Grava con 80% de arcilla y 20 % de lodos residuales.
Fuente: Autor**



**Ilustración 27. Arena+grava con 70% de arcilla y 30% de lodo residual, y 100%
de arcilla y 0% de lodo residual. Fuente: Autor**

3.5 Proceso de cocción de la arena+grava de arcillas y adición porcentual de lodo residual

Una vez logrado la reducción del porcentaje de humedad de las arenas y gravas de arcilla dentro de la cámara de secado, se procedió a armar la pirámide que simula las veces de horno artesanal, para lograr una temperatura superior de 750°C (Gnecco & Marquina, 2000), para alcanzar una cocción de las misma y obtener un incremento de diámetro y resistencia de las arenas y gravas de arcilla.



Ilustración 28. Horno artesanal para la cocción de los áridos. Fuente: Autor



Ilustración 29. Áridos después del proceso de cocción. Fuente: Autor



Ilustración 30. Áridos después de la cocción. Fuente: Autor



Ilustración 31. Áridos de arcilla con 10% de lodo residual, después de la cocción, listas para ser usada como agregado para el hormigón. Fuente: Autor

3.6 Análisis de laboratorio de las arenas+gravas de arcillas con adiciones de lodo residual

3.6.1 Granulometría

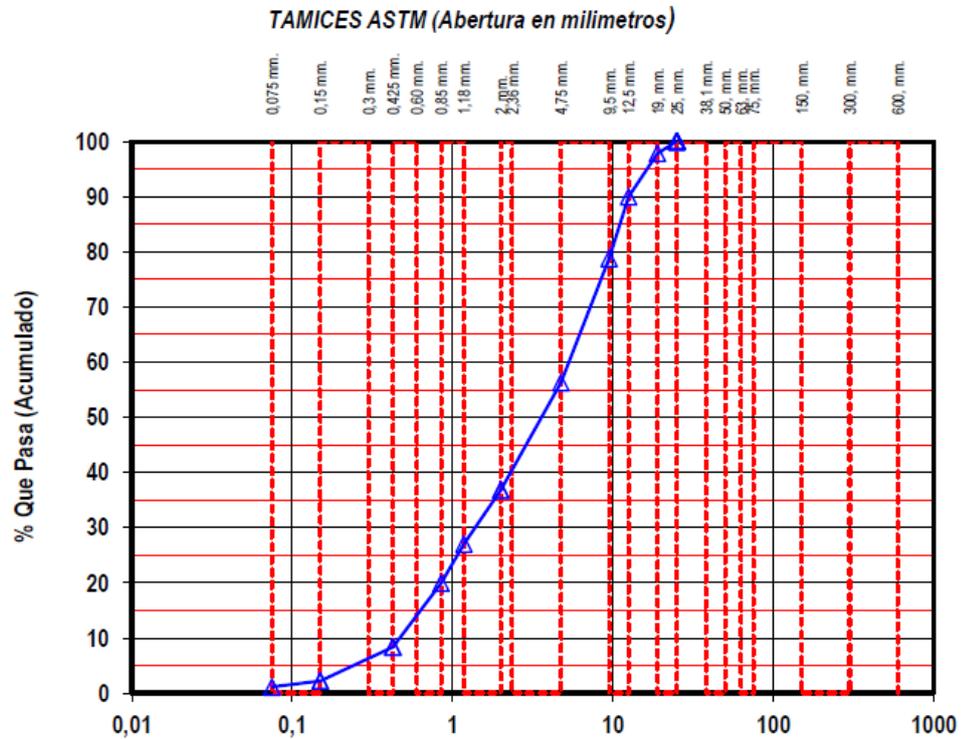


Ilustración 32. Curva de Distribución Granulométrica. Fuente el Autor

Tratamos de que nuestro árido conjunto se adapte lo más posible a las curvas granulométricas ya prefijadas. Se obtuvo una curva granulométrica muy amplia, la cual nos indica que este agregado se puede usar tanto en la parte ‘fina’ como ‘gruesa’.

Tabla 5. Distribución del tamaño de las partículas

Distribución del Tamaño de las Partículas Valores expresados en Porcentajes			
Pedrón Rodado			0,0
Canto Rodado			0,0
Grava	Gruesa	2,2	43,8
	Fina	41,5	
Arena	Gruesa	19,4	55,1
	Media	28,5	
	Fina	7,2	
Finos			1,1

Como se observa en la *tabla 4*, no hace falta más arena del tipo fina, para lograr tener una curva mucho más continua.

3.6.2. Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Tabla 6. Propiedades físicas de la arena+grava de arcilla más adiciones de lodo residual.

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # : 2-ene			Y RETIENE EN EL TAMIZ # : N 4		P R O M E D I O	
N° DE ENSAYO			1	2		
N° DE RECIPIENTE						
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA/	B	gr.	1170,00	1265,00		
MASA EN AGUA DEL AGREGADO SATURADO	C	gr.	595,00	655,00		
TEMPERATURA	(T)	°C	31,00	31,00		
N° DE RECIPIENTE			1	2		
MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA		gr.	1110,00	1190,00		
MASA DEL RECIPIENTE		gr.	160,00	155,00		
MASA MUESTRA SECA	A	gr.	950,00	1035,00		
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	K		0,9974	0,9974		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN	S_d		1,648	1,692		1,670
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN (SSS)	S_s		2,029	2,068		2,049
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	S_a		2,669	2,717		2,693
ABSORCIÓN	A %		23,16 %	22,22 %	22,69 %	

3.6.3 Masa unitaria suelta y varillado de la arena+grava de arcilla con adiciones de lodo residual

Tabla 7. Masa unitaria suelta

ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA						
ENSAYO #		1	2	3		
MASA MATERIAL + RECIPIENTE = P_1		8515	8540	8532		
MASA RECIPIENTE = P_2		5545	5545	5545		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = V		2837	2837	2837		
MASA UNITARIA SUELTA (PVS) $Kg/m^3 = (P_1 - P_2) \div V$		1,047	1,056	1,053		
PROMEDIO		1052				
CAPS. No.	MASA HÚMEDA	MASA SECA	MASA AGUA	MASA CAPS.	M. SUELO SECO	CONT. HUMEDAD
206	379,80	376,58	3,22	54,51	322,07	1,00

El porcentaje de huecos al calcular la masa unitaria suelta fue de 48.67%.

Tabla 8. Masa unitaria varillada.

ENSAYO DE MASA UNITARIA VARILLADA						
ENSAYO #		1	2	3		
MASA MATERIAL + RECIPIENTE = P_1		8865	8870	8875		
MASA RECIPIENTE = P_2		5545	5545	5545		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = V		2837	2837	2837		
MASA UNITARIA VARILLADA (PVS) $Kg/m^3 = (P_1 - P_2) \div V$		1,170	1,172	1,174		
PROMEDIO		1,172				
CAPS. No.	MASA HÚMEDA	MASA SECA	MASA AGUA	MASA CAPS.	M. SUELO SECO	CONT. HUMEDAD

El porcentaje de huecos al calcular la masa unitaria suelta fue de 42.80%.

3.7 Dosificación del hormigón ligero

Un primer método experimental de dosificación consistió en mezclar cantidades de arena+grava de arcilla con adiciones de lodo residual para un hormigón de 280 kg/cm². La dosificación fue la siguiente:

Tabla 9. Dosificación en volumen para 1m³ de hormigón

Dosificación en volumen para 1m ³ de hormigón.*		
Agua=	351,36	L
Arena+Grava de arcilla con adiciones de lodo residual=	1232,63	L(volumen suelto)
Cemento hidráulico para uso en la construcción=	519,01	L
Superplastificante-SF-106=	12,98	Sacos
	4736,84	cm ³

*Fuente el autor.

$$A/C = 0,54$$

Con esta dosificación se procedió a elaborar las probetas cilíndricas de 10x20cm de hormigón ligero, para sus respectivos ensayos de compresión simple.

3.8 Proceso de fabricación del hormigón ligero

Las adiciones porcentuales experimentales escogidas fueron 4:

Tabla 10. Tipos de cilindros

Tipos de cilindros
Unidades: %

Cilindro	Contenido de arcilla en el agregado	Contenido de lodo residual en el agregado
Tipo B	100	0
Tipo C	90	10
Tipo D	80	20
Tipo E	70	30

*Fuente: Autor.

Se moldearon 60 cilindros, 12 para cada tipo de cilindro, hormigón con piedra triturada (experimental), 0%,10%,20% y 30% de adiciones de lodos residuales *ilustración 34 y 35*. Una vez obtenido estos cilindros, con un diseño para un hormigón de 280 kg/cm², se los introdujo en la piscina de curado artesanal *ilustración 36*, para que estos lleguen a la resistencia de diseño a los 28 días.



Ilustración 33. Cilindros de hormigón tipo A (experimental) y B en la piscina de curado. Fuente: Autor



Ilustración 34. Cilindros de hormigón en la piscina de curado. Fuente: Autor



Ilustración 35. Piscina de curado. Fuente: Autor

3.9 Análisis de laboratorio a los cilindros de hormigón ligero.

3.9.1 Resistencia a la compresión simple

Antes de empezar con los ensayos de rotura, los cilindros fueron pesados y medido, como se muestra en la ilustración 36.



Ilustración 36. Pesando los cilindros antes de aplicar el ensayo de compresión simple. Fuente: Autor



Ilustración 37. Prensa para el ensayo de compresión de los cilindros, antes y después de aplicar el ensayo. Fuente: Autor



Ilustración 38. Analizando los resultados de compresión simple. Fuente: Autor



Ilustración 39. Zona de falla en cilindro de hormigón ligero con agregado 90% de arcilla y 10% de lodo residual. Fuente: Autor



Ilustración 40. Muestras de la sección transversal y longitudinal de los cilindros de hormigón ligero con agregado 90% de arcilla y 10% de lodo residual. Fuente: Autor

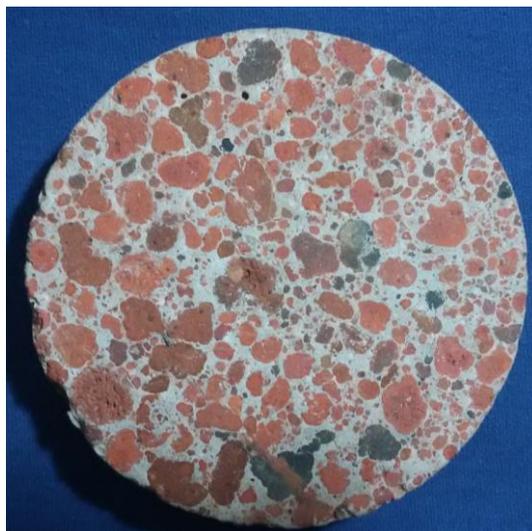


Ilustración 41. Sección transversal del cilindro de hormigón ligero de arena+grava de arcilla con adiciones de lodo residual Fuente: Autor

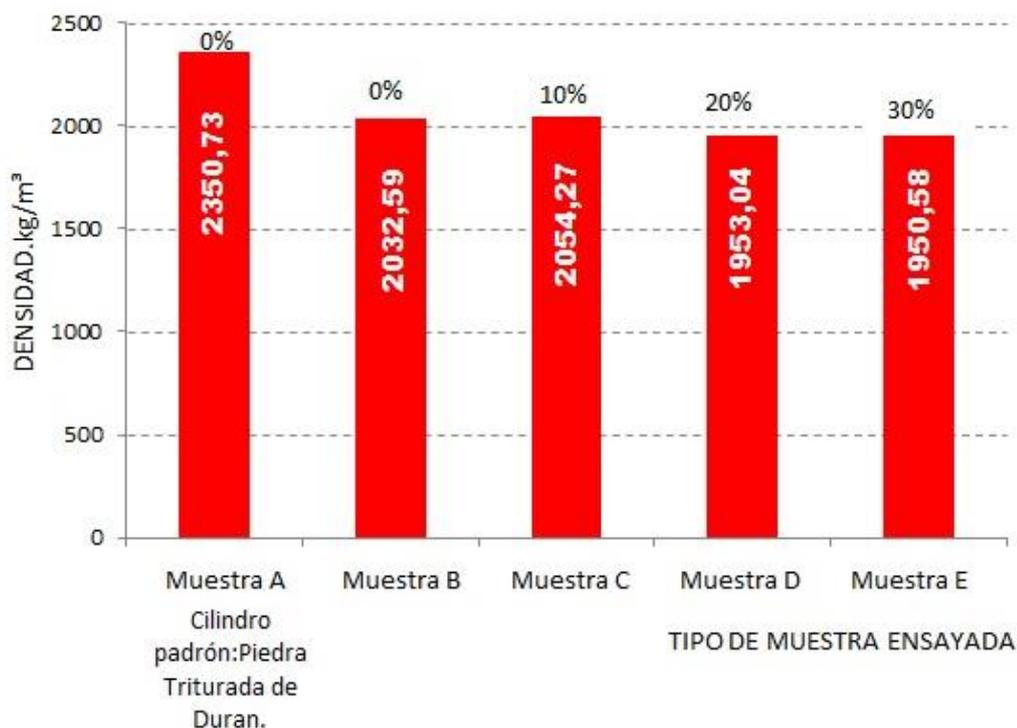


Ilustración 42. Análisis comparativos de las densidades alcanzadas por el hormigón ligero con adiciones variables de lodo residual. Fuente: Autor

Como se puede observar en la *Ilustración 43*, respecto al cilindro patrón hecho con piedra triturada de Duran, las diferencias de densidades esta entre 15-20% con los cilindros de arena+grava de arcillas con adiciones distintas de lodo residual.

Tabla 11. Resultados de laboratorio a los 7 días

Resultados de laboratorio a 7 días*

Cilindro	Diametro (mm)	Area (cm²)	Volumen (cm³)	Peso del cilindro (kg)	Peso específico (kg/m³)	Fuerza de rotura (KN)	Resistencia (kg/cm²)
Tipo B1	104	84,95	16,99	3,334	1962	148,7	171,61
Tipo B2	104	84,95	16,99	3,542	2085	126,1	145,53
Tipo C1	104	84,95	16,99	3,557	2094	163,2	188,35
Tipo C2	104	84,95	16,99	3,466	2040	174,5	201,39
Tipo D1	104	84,95	16,99	3,339	1965	136,9	158,00
Tipo D2	104	84,95	16,99	3,301	1943	120,1	138,61
Tipo E1	104	84,95	16,99	3,318	1953	88,8	102,48
Tipo E2	104	84,95	16,99	3,342	1967	85,9	99,14

*Fuente el autor.

Con los resultados de laboratorio a 7 días se procedió a realizar la curva de compresión, para observa mejor los resultados.

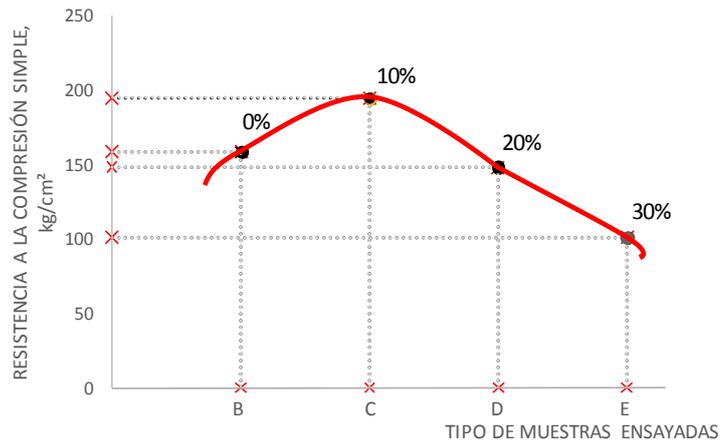


Ilustración 43. Resistencia a la compresión a los 7 días. Fuente: Autor

Tabla 12. Resultados de laboratorio a los 14 días

Resultados de laboratorio a los 14 días*

Cilindro	Diametro (mm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso del cilindro (kg)	Peso específico (kg/m ³)	Fuerza de rotura (KN)	Resistencia (kg/cm ²)
Tipo B1	104	84,95	16,99	3,408	2006	164,3	189,62
Tipo B2	104	84,95	16,99	3,48	2048	163,3	188,46
Tipo C1	104	84,95	16,99	3,557	2094	197,4	227,82
Tipo C2	104	84,95	16,99	3,451	2031	199,4	230,13
Tipo D1	104	84,95	16,99	3,327	1958	184,7	213,16
Tipo D2	104	84,95	16,99	3,312	1949	180	207,74
Tipo E1	104	84,95	16,99	3,316	1952	103,4	119,33
Tipo E2	104	84,95	16,99	3,323	1956	114	131,57

*Fuente el autor.

Con los resultados de laboratorio a 14 días se procedió a realizar la curva de compresión, para observa mejor los resultados.

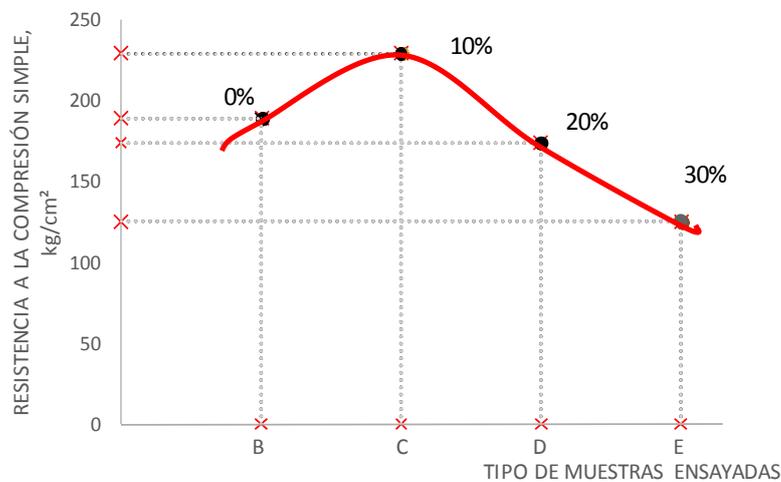


Ilustración 44. Resistencia a la compresión a los 14 días. Fuente: Autor

Tabla 13. Resultados de laboratorio a los 28 días

Resultados de laboratorio a los 28 días*

Cilindro	Diametro (mm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso del cilindro (kg)	Peso específico (kg/m ³)	Fuerza de rotura (KN)	Resistencia (kg/cm ²)
Tipo B1	104	84,95	16,99	3,509	2065	178,2	205,66
Tipo B2	104	84,95	16,99	3,447	2029	175,11	202,09
Tipo C1	104	84,95	16,99	3,475	2045	202	233,13
Tipo C2	104	84,95	16,99	3,435	2022	219,6	253,44
Tipo D1	104	84,95	16,99	3,335	1963	162,5	187,54
Tipo D2	104	84,95	16,99	3,295	1939	163,8	189,04
Tipo E1	104	84,95	16,99	3,285	1934	109,604	126,49
Tipo E2	104	84,95	16,99	3,300	1942	121,98	140,78

*Fuente el autor.

Con los resultados de laboratorio a 28 días se procedió a realizar la curva de compresión, para observa mejor los resultados.

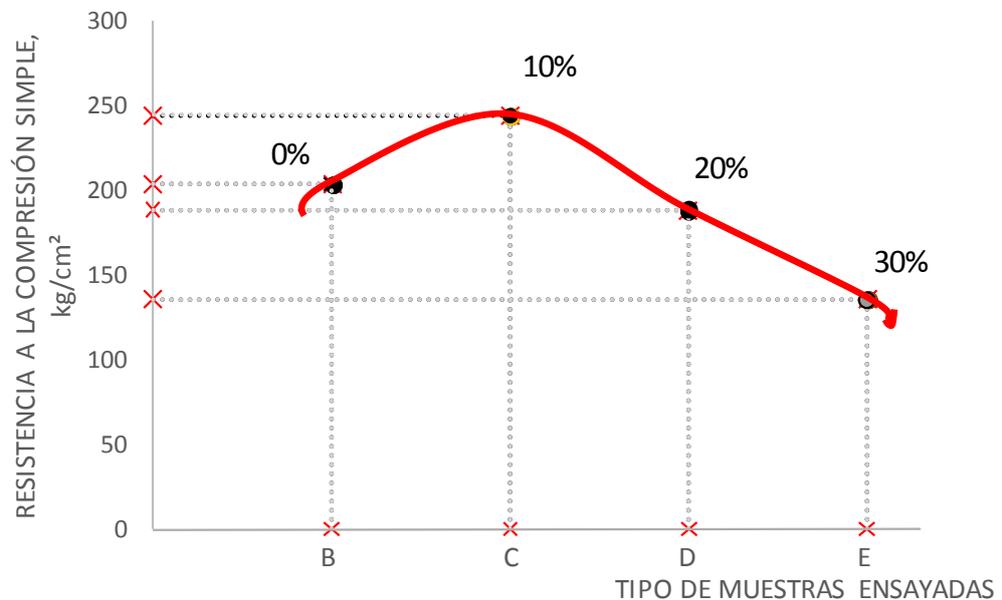


Ilustración 45. Resistencia a la compresión a los 28 días. Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 3.3, los cilindros Tipo C, que son los que tienen un agregado (fino y grueso) de 90% arcilla y 10% lodo, son los que tienen una mayor resistencia a la compresión simple, dando una un promedio a los 28 días de 243,28 kg/cm².

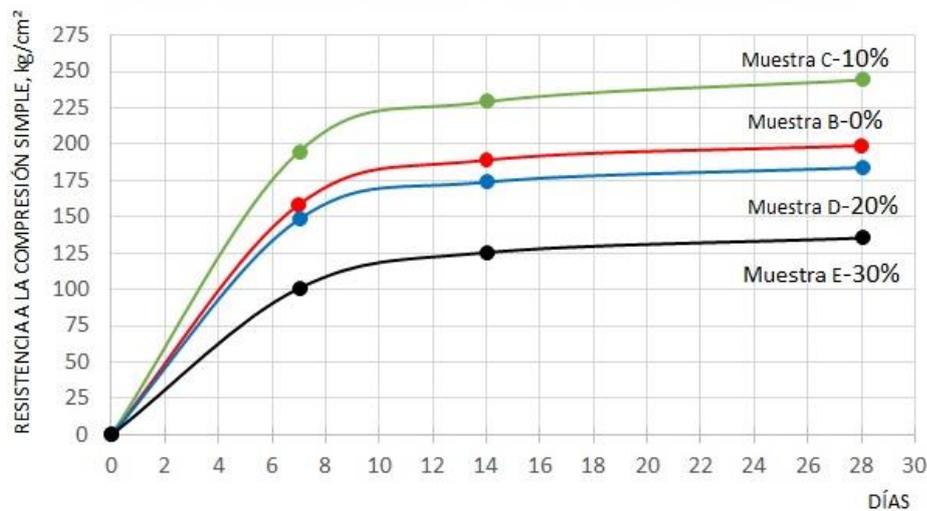


Ilustración 46. Curvas de comparación de la evolución de la resistencia del hormigón ligero que utiliza distintas adiciones de lodos residuales. Fuente: Autor

El hormigón ligero alcanza un 80-90% su resistencia máxima a la edad de 7 días. Lo que le da una ventaja más con respecto al hormigón convencional, que a los 7 días llega a un 70% de su resistencia.

3.10 Factibilidad económica y comparación de costos

El agregado de nuestro hormigón ligero, se ha considerado en \$ 7.00 el metro cubico, precio que incluye elaboración y cocción

Tabla 14. Precio por volumen de agregados

Precio por volumen de agregados*		
Componente	Unidad	Máximo
Arena corriente (fina) [1]	m ³	16,80
Arena Babahoyo (gruesa) [2]	m ³	18,04
Cascajo mediano/fino [3]	m ³	11,20
Cascajo grueso [4]	m ³	11,20
Piedra N° 4 [5]	m ³	18,67
Piedra chispa [6]	m ³	18,67
Piedra base [7]	m ³	17,50
Arena+Grava de arcilla y 10% de lodo residual [8]**	m ³	7,00

*Fuente: Revista DOMUS Febrero 2015

**Fuente: Autor

COMPARACIÓN DE COSTOS DE AGREGADOS

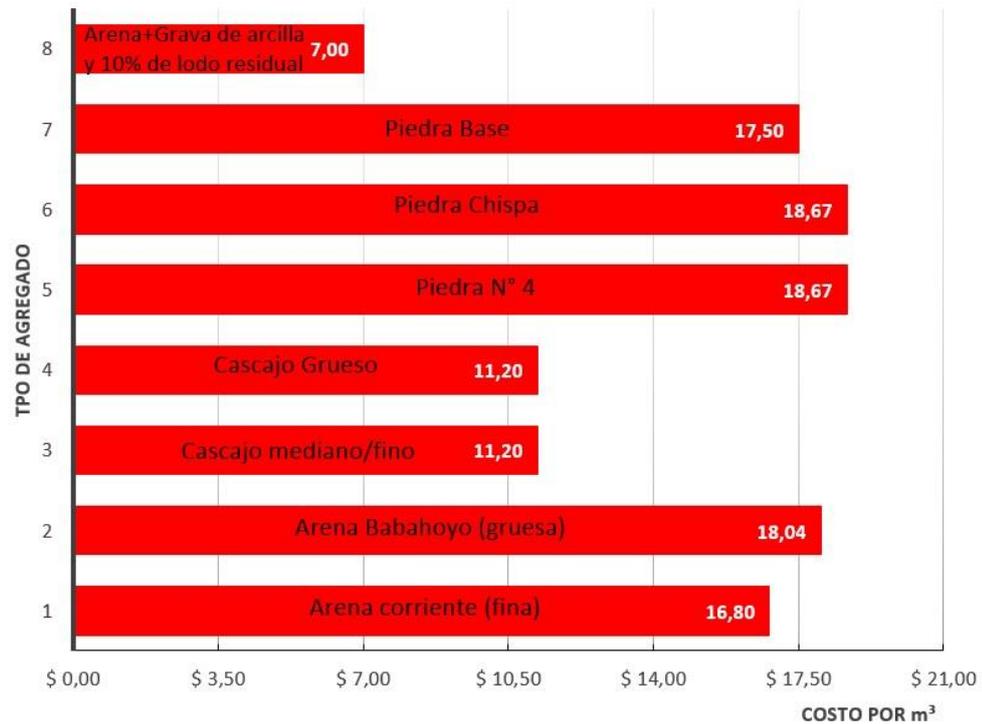


Ilustración 47. Comparación de costo de agregados por m³. Fuente: Autor

Tabla 15. Precio por volumen de hormigón vaciado directamente

Componente	Unidad	Máximo
Hormigón f'c= 140 kg/cm ² [1]	m ³	122,66
Hormigón f'c= 180 kg/cm ² [2]	m ³	129,93
Hormigón f'c= 210 kg/cm ² [3]	m ³	135,56
Hormigón f'c= 280 kg/cm ² [4]	m ³	144,02
Hormigón ligero f'c= 210 kg/cm ² [5]***	m ³	186,59
Hormigón ligero de arena+grava de arcilla y 10% de lodo residual f'c= 250 kg/cm ² ** [6]	m ³	116,38

*Fuente: Revista DOMUS Febrero 2015

**Fuente: Autor

***Fuente: Hormigonera Hércules

COMPARACIÓN DE COSTO DE HORMIGONES



Ilustración 48. Comparación de costo de agregados por m³. Fuente: Autor

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con el trabajo de investigación experimental, se afirma que si es posible trabajar con adiciones de lodo residual en los materiales de construcción, ya que estos tiene básicamente dos puntos a su favor; el primero es que este material, con una adición porcentual sube su resistencia, ya que, contiene metales pesados, como: el cromo, cobre, plomo y zinc. El segundo punto a su favor es que, evitamos la contaminación que este le produce al medio ambiente.

Los cilindros de hormigón ligero Tipo C, mostraron una resistencia mayor, que los cilindros Tipo: B, D y E, esto demuestra que con adiciones de 10% de lodo residual, estos aumentan su resistencia, llegando a una resistencia de 200kg/cm² a los 7 días. Lo cual nos indica que puede ser usado como un hormigón estructural y bajando el peso de las mismas en un 20%, del hormigón convencional.

Estos cilindros de hormigón ligero, tienen una relación de peso 20% menor que los convencionales hecho con piedra triturada y arena. Por lo que se podrá usar como ventajas a la hora de diseñar la cimentación de los edificios ya que este alivianaría el peso que recibirán las mismas.

Se deberá seguir investigando el uso de arena + grava obtenida a partir de arcillas expansivas de Guayaquil con adiciones de lodos residuales. En esta primera investigación se ha utilizado un diseño de hormigón rico en cemento, considerando que la absorción del 22% de las partículas podía alterar los resultados.

Se deberá realizar un importante seguimiento a este desarrollo tecnológico que comenzó con una propuesta metodológica para la obtención de una forma inédita de lograr una curva granulométrica que involucra todos los tamaños de partículas necesarias en una curva granulométrica continua de arena + grava para hormigones, lograda a partir de materiales donde inicialmente el 100% pasa por el tamiz 200.

Se decidió iniciar la investigación utilizando un diseño rico en cemento, 12 a 13 sacos por metro cúbico, para obtener resultados que puedan optimizarse en

posteriores investigaciones sobre este mismo hormigón ligero. Es necesario estudiar si se podría utilizar un diseño menos rico como el de un mortero convencional, es decir 11 sacos por metro cúbico.

Se continuarán observando los procesos y comportamientos de este Hormigón Ligero, al que se lo ha logrado analizar en sus primeros 28 días. Observaciones sobre su durabilidad deberán de continuar haciéndose, buscando lograr el uso comercial de este producto, cuya principal importancia es la de que permite utilizar un material hasta hoy no utilizado, y que además contamina el medio ambiente.

Entonces, los hormigones que aquí se han analizado, deben continuar siendo estudiados, pues la utilización de arena + grava obtenida a partir de arcillas expansivas, muy abundantes en Guayaquil, y de lodos residuales de planta de tratamiento, lo transformarían en un producto importante para aprovechar materiales que no se utilizan en nuestro medio.

La participación de la comunidad en los trabajos de muestreo y cocción del material, permitió que se pueda aprovechar los conocimientos que ya poseen los habitantes del lugar, y puedan diversificar sus productos, que tradicionalmente han sido ladrillos. Su contacto con la Universidad les ha dado una nueva alternativa.

A nosotros, que estamos por graduarnos, esta investigación nos ha permitido también analizar la situación de los migrantes de nuestra ciudad.

La comunidad de La Ladrillera se ha asentado y consolidado en los últimos 15 años, y requiere de nuestra preocupación y de la vinculación con la Universidad para poder continuar.

4.2 Recomendaciones

Se sugiere evitar en cuanto sea posible el uso de químicos para el tratamiento de los lodos residuales, ya que al introducir este producto, altera las propiedades de un lodo residual doméstico común, y es un material mucho más contaminante y difícil de tratar.

Se recomienda al momento de la preparación del hormigón ligero, usar el agregado saturado, para así tener una mejor trabajabilidad del hormigón, y que el agregado no absorba el agua de amasado del concreto.

De esta investigación se desprende que es necesario continuar estudiando este tipo de Hormigón Ligero, para observar la resistencia máxima a la que se podría llegar. Es necesario determinar una relación entre el peso específico y la resistencia a la compresión simple. De esta manera se logrará un diseño de hormigón más eficiente, al trabajar con una cantidad mayor de material fino

Referencias

- Fernández Alba, A. R. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Elecé Industria Gráfica.
- Agua, C. N. (2007). *Manual de agua potable,alcantarillado y saneamiento*. Mexico,D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Aramayo Cruz, G., Buncuga, V., Cahuapé caasaux, M., Forgione, F., & Navarrete, A. (2003). *Hormigones con agregados livianos*. Departamento de mecanica aplicada y estructuras: Facultad de ciencias exactas ingenieria y agrimensura-U.N.R.
- Barrios Pérez, J. A. (2009). *Aspectos Generales del Manejo de Lodos*. México, D.F.: Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento .
- Conocimientosweb. (10 de Noviembre de 2014). *Conocimientosweb*. Obtenido de <http://www.conocimientosweb.net/portal/article1373.html>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para nucleos pequeños y descentralizados*. Santafé de Bogota: Emma Ariza H.
- Engineering, T. -W. (1991). *Tchobanoglous and Burton*. New York,USA: Wiley & Sons.
- Francis, T. &. (1998). *Concreto de alto desempeño*. San Jose de Costa Rica: Talleres de jimenez & Tanzi S.A.
- Gil Rodríguez, M. (2013). *Depuracion de aguas residuales,modelizacion de procesos de lodos activos*. Madrid: Ibergarceta plublicaciones.
- Gnecco, M., & Marquina, J. (2000). *Ladrillos que ahorran energia:manual para pequeños productores de ladrillos*. Lima.

- Holff, G. C., & Elimov, R. (1995). Concrete Production for the Hibernia platform. *Supplementary papers, 2nd CANMET/ACI International Symposium on Advance in concrete Technology*, 717-739.
- LaFraugh, R. (19987). Design and Placement of high Strength Lightweight and normalweight Concrete for Glomar Beaufort sea 1. En *Utilization of Hight Strength concrete* (págs. 497-508). Stavanger Norway: ISBN 82-519-0797-7.
- Lenntch. (11 de Noviembre de 2009). *Lenntch*. Obtenido de water Treatment Solutions: <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-estabilizacion.htm>
- Limón Macías, J. G. (08 de julio de 2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.¿Problema o recurso? Guadalajara, Jalisco, Mexico.
- Malhotra, V. H. (1990). Properties of High-strengthLight Concrete Incorporationg Fly Ash and silica fume. En *ACI SP 121* (págs. 645-666).
- Novoksshchenov, V., & Whitcomb, W. (1990). How to obtain high-strength Concrete Using low Density Aggregate. En *ACI SP 121* (págs. 465-476).
- Orellana León, X. O. (24 de Septiembre de 2015). Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Catolica Santiago de Gauyaquil.
- Orozco Jaramillo, Á. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales,Teoria y diseño*. ACODAL.
- Orozco, A., & Salazar, A. (1987). *Tratamiento de las aguas residuales, Segunda edicion*. Universidad de Antioquia.
- Orzoco, A. (1993). *Parámetros de dieño, en Memorias de Tencologia del tratamiento anaerobico de residuos organicos*. Santa Fe de Bogotá: Uniandes.
- Parra Henao, D. (2000). *Estudio preliminar de expansion termica de arcillas a escala de laboratorio*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramalho, R. S. (1983). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Editorial Reverte, S. A.

- Romero Rojas, J. A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogota: Editorial Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Sainz Sastre, J. A. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid: Fundacion EOI.
- Short, A., & Kinniburgh, W. (1967). *Concreto Liger; Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones*. Mexico, D.F.: Editorial Limusa. Willey, S. A.
- Valdez Guzmán, L. F., & Soares Alcívar, G. E. (s.f.). *Hormigones Livianos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Valdez Guzmán, L. F., Suárez Alcivar, G. E., & Ing. Proaño Cadena, G. (s.f.). *Hormigones Livianos*. Guayaquil, Ecuador.
- Vandenbussche, F., & Bessiron, N. (2005). *Madrid Patente n° 2 222 248*.
- WEBER, S.-G. (18 de julio de 2016). *Tectonica online*. Obtenido de Tectonica online: http://www.tectonica-online.com/productos/107/expandida_arcilla_leca_arlita/
- Yagual Vera, D. G., & Villacis Apolinario, D. W. (2015). *Hormigon Liviano de alto desempeño con arcilla expandida*. La Libertad-Ecuador: Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena.
- Zhang, M. -H., & Gjorv, O. E. (1990). Development of High-strength Lightweight Concrete. En *ACI SP 121* (págs. 667-681).

Bibliografía

- Fernández Alba, A. R. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid: Elecé Industria Gráfica.
- Agua, C. N. (2007). Manual de agua potable,alcantarillado y saneamiento. Mexico,D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Aramayo Cruz, G., Buncuga, V., Cahuapé caasaux, M., Forgione, F., & Navarrete, A. (2003). Hormigones con agregados livianos. Departamento de mecanica aplicada y estructuras: Facultad de ciencias exactas ingenieria y agrimensura-U.N.R.
- Barrios Pérez, J. A. (2009). Aspectos Generales del Manejo de Lodos. México, D.F.: Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento .
- Conocimientosweb. (10 de Noviembre de 2014). Conocimientosweb. Obtenido de <http://www.conocimientosweb.net/portal/article1373.html>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para nucleos pequeños y descentralizados. Santafé de Bogota: Emma Ariza H.
- Engineering, T. -W. (1991). Tchobanoglous and Burton. New York,USA: Wiley & Sons.
- Francis, T. &. (1998). Concreto de alto desempeño. San Jose de Costa Rica: Talleres de jimenez & Tanzi S.A.
- Gil Rodríguez, M. (2013). Depuracion de aguas residuales,modelizacion de procesos de lodos activos. Madrid: Ibergarceta plublicaciones.
- Gnecco, M., & Marquina, J. (2000). Ladrillos que ahorran energia>manual para pequeños productores de ladrillos. Lima.
- Holff, G. C., & Elimov, R. (1995). Concrete Production for the Hibernia plataform. Supplementary papers, 2nd CANMET/ACI International Symposium on Advance in concrete Technology, 717-739.

- LaFraugh, R. (19987). Design and Plancement of hight Strength Lightweight and normalweight Concrete for Glomar Beaufort sea 1. En Utilization of Hight Strength concrete (págs. 497-508). Stavanger Norway: ISBN 82-519-0797-7.
- Lenntch. (11 de Noviembre de 2009). Lenntch. Obtenido de water Treatment Solutions: <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-estabilizacion.htm>
- Limón Macías, J. G. (08 de julio de 2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.¿Problema o recurso? Guadalajara, Jalisco, Mexico.
- Malhotra, V. H. (1990). Properties of High-strengthLight Concrete Incorporationg Fly Ash and silica fume. En ACI SP 121 (págs. 645-666).
- Novoksshchenov, V., & Whitcomb, W. (1990). How to obtain high-strength Concrete Using low Density Aggregate. En ACI SP 121 (págs. 465-476).
- Orellana León, X. O. (24 de Septiembre de 2015). Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Catolica Santiago de Gauyaquil.
- Orozco Jaramillo, Á. (2014). Bioingeniería de aguas residuales,Teoria y diseño. ACODAL.
- Orozco, A., & Salazar, A. (1987). Tratamiento de las aguas residuales, Segunda edicion. Universidad de Antioquia.
- Orzoco, A. (1993). Parámetros de dieño,en Memorias de Tencologia del tratamiento anaerobico de residuos organicos. Santa Fe de Bogotá: Uniandes.
- Parra Henao, D. (2000). Estudio preliminar de expansion termica de arcillas a escala de laboratorio. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramalho, R. S. (1983). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverte, S. A.
- Romero Rojas, J. A. (2008). Tratamiento de aguas residuales. Bogota: Editorial Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Sainz Sastre, J. A. (2005). Tecnologias para la sostenibilidad.Procesos y operaciones unitarias en depuracion de aguas residuales. Madrid: Fundacion EOI.

- Short, A., & Kinniburgh, W. (1967). *Concreto Liger; Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones*. Mexico, D.F.: Editorial Limusa. Willey, S. A.
- Valdez Guzmán, L. F., & Suares Alcívar, G. E. (s.f.). *Hormigones Livianos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Valdez Guzmán, L. F., Suárez Alcivar, G. E., & Ing. Proaño Cadena, G. (s.f.). *Hormigones Livianos*. Guayaquil, Ecuador.
- Vandenbussche, F., & Bessiron, N. (2005). Madrid Patente nº 2 222 248.
- WEBER, S.-G. (18 de julio de 2016). Tectonica online. Obtenido de Tectonica online: http://www.tectonica-online.com/productos/107/expandida_arcilla_leca_arlita/
- Yagual Vera, D. G., & Villacis Apolinario, D. W. (2015). *Hormigon Liviano de alto desempeño con arcilla expandida*. La Libertad-Ecuador: Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena.
- Zhang, M. -H., & Gjorv, O. E. (1990). Development of High-strength Lightweight Concrete. En ACI SP 121 (págs. 667-681).



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Moncada Zambrano, Antonio Ricardo**, con C.C: # 0930878244 autor/a del trabajo de titulación: **Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 29 de **Agosto** de **2016**

f. _____

Nombre: **Moncada Zambrano, Antonio Ricardo**

C.C: **0930878244**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Hormigón ligero a partir de fangos sobrantes de plantas de tratamiento de aguas residuales.		
AUTOR(ES)	Moncada Zambrano, Antonio Ricardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Martínez Rehpani, Colón Gilberto		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	29 de agosto de 2016	No. DE PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería ambiental, Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, Hormigón ligero con arcilla expandida.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Hormigón ligero, lodos residuales, plantas de tratamiento de aguas residuales, desalojo y manejo de lodos residuales, arena+grava de arcilla con lodo residual.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En el presente trabajo se ha demostrado que es factible el uso de lodos de sistemas de depuración de aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil, para que se pueda utilizar como material de construcción. Se plantea una solución para disminuir el impacto ambiental que produce el desalojo de los lodos residuales, al utilizar este material peligroso. En este proyecto de investigación metodológica experimental, se propone usar este material como agregado grueso y fino como componentes del hormigón ligero, Logrando adiciones porcentuales de 0-10-20-30% de lodos residuales de sistemas de depuración de aguas domésticos a la arcilla expansiva de la formación Piñón del norte de la ciudad Guayaquil, dando como el porcentaje más óptimo el de 10% de lodo residual y 90% de arcilla expansiva. Logrando una reducción aproximada del 20 % el peso específico del hormigón ligero, y desarrollar una curva granulométrica continua o tendida, para la realización de hormigón ligero de alta resistencia.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono +593-4-243355	E-mail: anzam.92@gmial.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Claro glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2202763		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			