



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES NO PELIGROSOS DE UNA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA LA  
ELABORACIÓN DE TABLEROS AISLANTES DE RUIDO**

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

**Profesora Guía  
Ing. Martha Elizabeth Pazmiño Montero**

**Autora  
Mary Stephanie Ocaña Proaño**

**Año  
2014**

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Martha Elizabeth Pazmiño Montero  
Ingeniera  
C.I. 1708618036

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

---

**Mary Stephanie Ocaña Proaño**  
**C.I. 1718680828**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y bendecirme con mi familia quienes han inculcado en mi los valores y principios que ahora me caracterizan como una buena profesional y persona; a mis maestros quienes han compartido su sabiduría y me han otorgado las pautas para poder desarrollarme en el ámbito laboral, en especial a mi profesora guía y profesores que me apoyaron en la elaboración del presente trabajo de titulación.

## DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi madre y abuelita quienes con todo su esfuerzo y sabiduría supieron guiar mi camino, permitiéndome alcanzar con éxito una de mis metas; a mi hermano, familia y amigos por todo el apoyo brindado, y a mi profesora guía quien supo dirigir y orientar las ideas para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

## RESUMEN

En la industria de la fabricación de sanitarios se generan aguas residuales no domésticas provenientes de los subprocesos de preparación pasta cerámica, fabricación de moldes, vaciado, esmaltado e inspección cruda; aguas residuales que por responsabilidad ambiental y cumplimiento de la legislación ambiental vigente, necesitan ser tratadas para ser descargas al sistema de alcantarillado de la ciudad de Quito.

Las aguas residuales de la fabricación de sanitarios reciben un tratamiento físico químico para separar las materias primas utilizadas en la preparación de la pasta cerámica y del esmalte inorgánico. Las partículas sólidas y los sólidos suspendidos en el agua precipitan y son recolectadas en una prensa hidráulica que deshidrata el porcentaje de agua en exceso.

El presente trabajo de titulación se orientó al estudio de la factibilidad de realizar tableros aislantes de ruido mediante el aprovechamiento del lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la fabricación de sanitarios.

El estudio comprendió la caracterización físico - química de los lodos residuales utilizados en el presente estudio, para confirmar la mención dada por el ente regulador ambiental; a partir de los análisis realizados se determinó que el lodo residual es un residuo no peligroso por no exceder los límites máximos permisibles de metales pesados y radiación gamma.

A través del diseño experimental se realizaron pruebas de dosificación de materiales para la determinación de los porcentajes de composición, de cada material, de la mezcla que conformó los tableros aislantes de ruido; se elaboraron tres tipos de tableros, cuya variación fue el uso de material absorbente de ruido, y fueron analizados para determinar su eficiencia de aislamiento acústico. Gracias a un modelo matemático basado en la norma española UNE – EN 12354-1 se pudo determinar el índice de aislamiento acústico de cada tablero elaborado, resultando más eficiente el tablero que se

elaboró sin material absorbente de ruido. Tableros aislantes de ruido que pueden ser utilizados como material de acabado en la construcción de una pared doble.

El beneficio del presente estudio se orientó a la responsabilidad social y ambiental. Un desecho de la industria de fabricación de sanitarios con alto potencial de aprovechamiento que ha sido dispuesto en el relleno sanitario de la ciudad de Quito durante años, generando contaminación al ambiente por su transporte y reduciendo la vida promedio de uso de un relleno sanitario.

## ABSTRACT

The toiled manufacturing industry generated non-domestic wastewater from threads of ceramic paste preparation, molds preparation, stripping, glazing and raw inspection. Wastewater need to be treated before the discharge to sewer system of Quito city, because of environmental responsibility and compliance of environmental legislation.

Wastewater receives a physical chemical treatment to separate the raw materials used in ceramic paste preparation and inorganic enamel. Solid particles and suspended solids of water precipitate and are collected in a hydraulic press which dehydrates the percentage of excess water.

The present work was oriented to study the possibility of making noise insulation boards by using residual sludge from the treatment of non-domestic wastewater of toiled manufacturing industry.

The study included the physical - chemical residual sludge characterization to confirm the statement given by the environmental regulator. Analyzes determined that residual sludge is not hazardous because it does not exceed the maximum permissible limits of heavy metals and gamma radiation.

Through experimental design dosage tests were performed to determine material composition percentages. Three types of boards were prepared with different kind of sound absorbing material, they were analyzed to determinate each efficiency soundproofing. Thanks to a mathematical model based on UNE - EN 12354-1 rule, we could determine the indices of soundproofing. The best board was the one that it was made without sound absorbing material. Noise insulation board can be used as a finishing material for double wall construction.

The benefit of this study was oriented to social and environmental responsibility. Residual sludge of the toiled manufacturing industry has been disposed in the landfill of Quito city for years, generating environmental pollution by transport and reducing the average life of a landfill.



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	6
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	6
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
<b>1.1 INDUSTRIA CERÁMICA</b> .....	6
1.1.1 Materias primas utilizadas en el proceso de elaboración de cerámica sanitaria.....	7
1.1.2 Proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria.....	9
1.1.3 Residuos generados en el proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria .....	11
<b>1.2 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS PARA EL SECTOR CERÁMICO</b> .....	13
1.2.1 Pre-tratamiento .....	14
1.2.2 Tratamiento primario.....	16
<b>1.3 LODOS INDUSTRIALES PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS PARA EL SECTOR CERÁMICO</b> .....	18
1.3.1 Caracterización físico-química de lodos residuales del sector cerámico .....	19
1.3.2 Aprovechamiento de lodos residuales del sector cerámico .....	19
<b>1.4 AISLAMIENTO ACÚSTICO</b> .....	20
1.4.1 Tabiques dobles o paredes dobles .....	22
1.4.2 Materiales absorbentes de ruido.....	23
<b>1.5 MÉTODOS PARA MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO</b> .....	24
<b>2. ANALISIS DE MATERIALES</b> .....	25
<b>2.1 CARACTERIZACIÓN DE LODOS INDUSTRIALES</b> .....	25
2.1.1 Caracterización física del lodo .....	25
2.1.1.1 Humedad y sólidos totales.....	26

2.1.1.2	Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica.....	29
2.1.1.3	Textura .....	30
2.1.1.4	Radiación gamma .....	32
2.1.2	Caracterización química del lodo .....	34
2.2	MATERIALES A UTILIZAR EN LA MEZCLA DE LODO .....	35
2.2.1	Lodo residual .....	36
2.2.2	Cemento .....	38
2.2.3	Agregado grueso (rotura cerámica).....	39
2.2.4	Agregado fino (arena).....	40
2.2.5	Material absorbente de ruido .....	40
3.	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	41
3.1	DOSIFICACIÓN DE MATERIALES.....	41
3.2	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE TABLEROS AISLANTES DE RUIDO .....	50
3.3	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO .....	51
4.	<b>RESULTADOS</b> .....	52
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL INDUSTRIAL .....	52
4.1.1	Caracterización física del lodo .....	52
4.1.1.1	Humedad .....	52
4.1.1.2	Sólidos totales.....	53
4.1.1.3	Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica .....	54
4.1.1.4	Textura .....	54
4.1.1.5	Radiación gamma.....	55
4.1.2	Caracterización química del lodo .....	56
4.2	DISEÑO EXPERIMENTAL – DOSIFICACIÓN DE MATERIALES.....	57
4.3	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO .....	59
5.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	61
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL INDUSTRIAL .....	61
5.1.1	Caracterización física del lodo .....	61
5.1.1.1	Humedad.....	61

5.1.1.2 Sólidos totales .....	61
5.1.1.3 Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica .....	62
5.1.1.4 Textura .....	63
5.1.1.5 Radiación gamma .....	64
5.1.2 Caracterización química del lodo .....	65
5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL – DOSIFICACIÓN DE MATERIALES .....	65
5.2.1 Diseño experimental uno .....	65
5.2.2 Diseño experimental dos .....	66
5.2.2.1 Análisis de varianza de un solo factor: Módulo de ruptura vs. Mezcla .....	66
5.2.2.2 Método de Tukey.....	69
5.3 MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	70
6. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO .....	71
6.1 ANÁLISIS DE ECONÓMICO.....	71
6.2 BENEFICIOS .....	72
7. CONCLUSIONES.....	74
8. RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS .....	77
ANEXOS .....	80

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el consumo del recurso agua en cada país depende primordialmente del desarrollo económico del mismo. Los seres humanos que habitan en países desarrollados, casi en su totalidad, tienen acceso al servicio básico de agua potable y saneamiento en sus hogares. Uno de cada cinco habitantes de los países en desarrollo no dispone del servicio básico de agua potable y casi la mitad de la población carece de saneamiento adecuado. Es así que se ve marcada la gran diferencia en cuanto al consumo del agua; en los países desarrollados el consumo promedio diario por persona oscila entre 200 y 300 litros, mientras que en los países en desarrollo el consumo limitado es inferior a 10 litros diarios por persona. El agua residual proveniente de las actividades que desarrolla el ser humano, con cargas considerables de contaminantes, es descargada a diversos cuerpos receptores de agua en todo el mundo; causando un gran problema de contaminación del agua (PNUD, 2006, pp. 31- 36).

Remontándose años atrás, aproximadamente desde el año 1500 al 1800 ya se trataban las aguas residuales mediante su vertido en el suelo. Con el origen de enfermedades y afectaciones a la salud se empieza a dar un enfoque de saneamiento; es así que desde 1887, con la elaboración de la primera planta de precipitación química desarrollada en Estados Unidos, se dio origen al estudio de nuevas técnicas, métodos y alternativas más desarrolladas para tratar eficientemente las aguas residuales (Rojas, 2002).

Según registros de la Secretaría del Ambiente, de un total de 1220 industrias que desarrollan sus actividades en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), 466 industrias registran datos de descargas liquidas al ambiente, es decir solo el 38% de industrias dan un tratamiento a su agua residual. Del 38% de establecimientos que dan un tratamiento a sus aguas residuales no todos registran datos de generación de lodos, solo los establecimientos que producen lodo residual peligroso (Secretaría del Ambiente, 2013).

En la industria de fabricación de sanitarios hacen uso de materia prima inorgánica con bajo contenido de metales pesados, lo cual hace que sus aguas residuales de proceso no sean altamente contaminantes; estas aguas residuales no domésticas reciben un tratamiento físico-químico, resultando agua tratada y lodos residuales catalogados como lodos no peligrosos.

EDESA S.A. produce alrededor de 3100 toneladas anuales de lodo residual no peligroso, mismo que es enviado al relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito; este residuo industrial, con alto potencial para ser aprovechado, es desperdiciado desde que la planta de tratamiento de aguas residuales entró en funcionamiento en 1998 (EDESA S.A, 2013).

En la industria de fabricación de sanitarios se llevan a cabo varios procesos como son: mantenimiento mecánico y eléctrico, diseño y desarrollo de matrices, preparación de pasta cerámica, preparación de esmalte, fabricación de moldes, vaciado, secado, inspección cruda, esmaltado, quema, inspección final, planta de tratamiento de agua potable, y planta de tratamiento de aguas residuales de proceso; de los cuales no todos requieren como insumo el recurso agua.

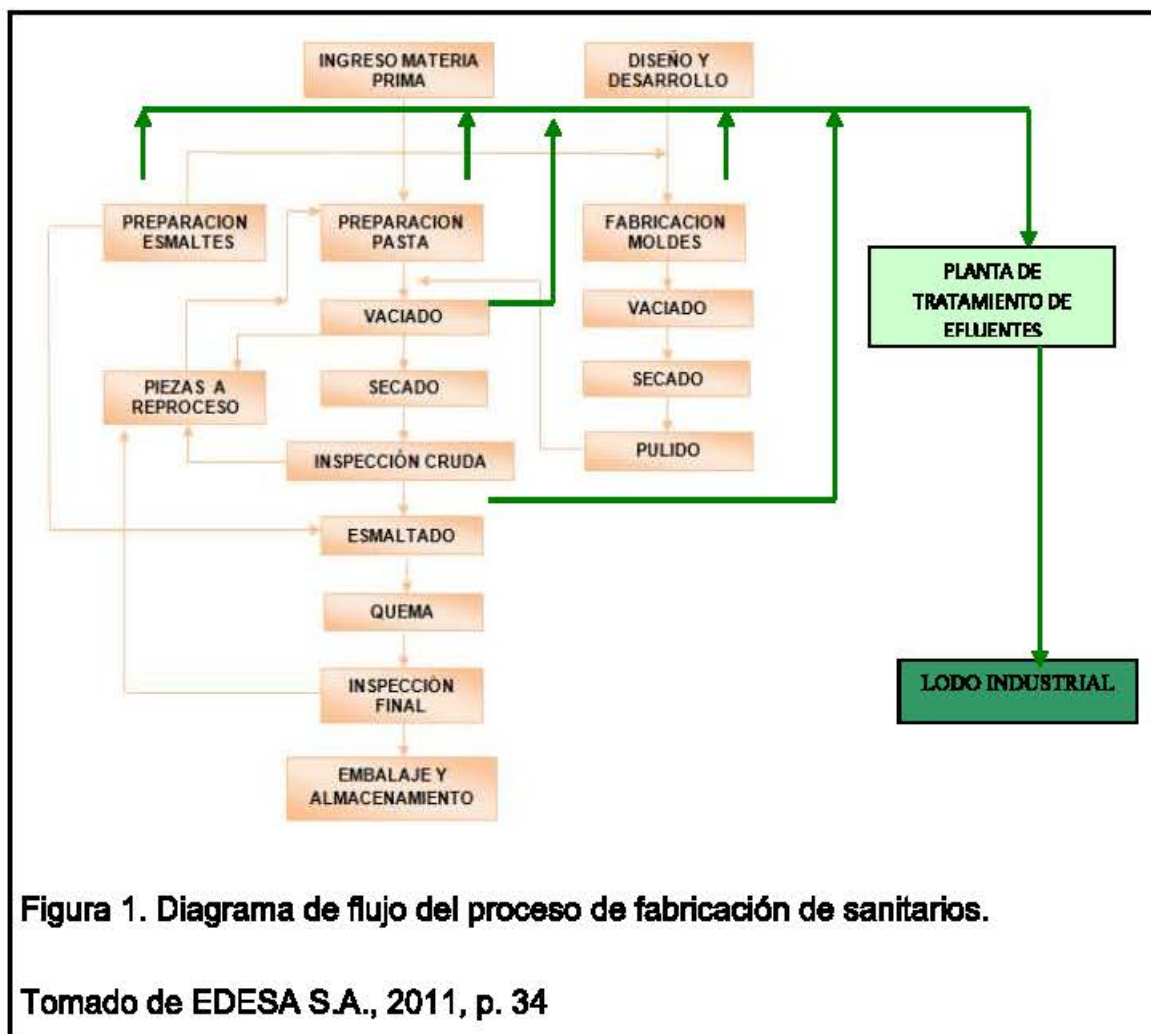


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de sanitarios.

Tomado de EDESA S.A., 2011, p. 34

Los procesos de preparación de pasta cerámica, preparación de esmalte, fabricación de moldes, inspección cruda, y esmaltado usan el recurso agua para llevar a cabo sus actividades; el agua residual de estos procesos, mediante canalización y recolección es dirigida a la planta de tratamiento de aguas residuales de proceso.

El agua residual no doméstica del proceso de fabricación de sanitarios recibe un tratamiento físico químico, clarificación a través de floculación y coagulación. Producto de este proceso es el lodo residual y agua con parámetros que cumplen la normativa ambiental vigente. El funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas es de 12 horas y su cuerpo receptor es el alcantarillado público (EDESA S.A., 2011, p. 36).

Las materias primas requeridas en la industria de fabricación de sanitarios, para la elaboración de pasta cerámica y esmalte, son feldespatos de varios tipos, caolín, arcilla, rotura cerámica, frita, carbonato de calcio y pigmentos. Materias primas que de acuerdo al diseño, investigación y desarrollo son mezcladas en diferentes proporciones y según su requerimiento para la fabricación de pasta cerámica y esmalte; procesos importantes para la producción de sanitarios.

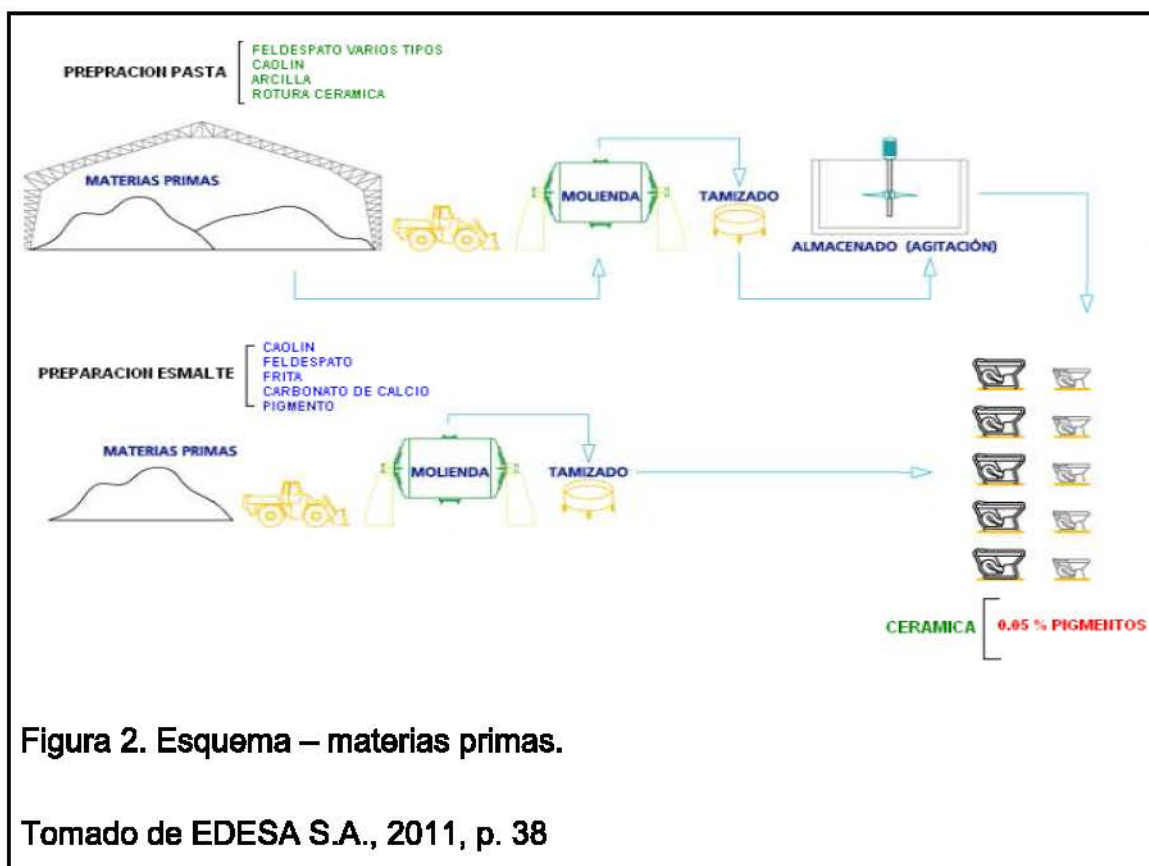


Figura 2. Esquema – materias primas.

Tomado de EDESA S.A., 2011, p. 38

Un sanitario está conformado por el noventa y un por ciento (91%) de pasta cerámica y nueve por ciento (9%) de esmalte. Entonces, se puede determinar que el lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas del proceso de fabricación de sanitarios es no peligroso, debido a la presencia de materiales inertes y su baja concentración de metales pesados presentes en los pigmentos del esmalte (EDESA S.A., 2011, pp. 21-40).

En el proceso de fabricación de sanitarios, los lodos residuales ocupan aproximadamente ocho por ciento (8%) de sus productos de salida, los mismos que son almacenados en una fosa para ser enviados al relleno sanitario por parte de la gestión de la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EDESA S.A., 2011, pp. 21-40).

El alcance del proyecto de investigación abarca la propuesta de una alternativa de aprovechamiento del residuo industrial, lodo residual no peligroso, que se genera en el proceso de fabricación de sanitarios; reduciendo directamente la vida útil del relleno sanitario, las emisiones a la atmósfera que se emanan en la actualidad por el transporte del residuo, e impulsando la responsabilidad social y ambiental del sector industrial. Un aprovechamiento enfocado a solucionar la contaminación acústica generada en distintos ambientes mediante la elaboración de tableros aislantes de ruido.

Para llegar a cumplir el alcance del proyecto de investigación, se caracterizó física y químicamente el lodo residual para determinar su peligrosidad, y se identificó los materiales necesarios para la elaboración de una mezcla, que puedo seguir procesos de fraguado, secado y corte. Además se determinó las variables influyentes y sus rangos de operación a través de un diseño experimental y se analizó la eficacia de los tableros aislantes de ruido.

El desperdicio de materiales dentro de un proceso productivo, como los lodos residuales no peligrosos, han sido el incentivo de este trabajo de investigación, enfocándolo a reducir la cantidad de residuos de lodos no peligrosos que van al relleno sanitario, mediante su aprovechamiento en tableros aislantes de ruido; además de aportar a la mitigación de la contaminación acústica generada en distintos ambientes.

Los resultados alcanzados en la investigación constituyen una alternativa para formar una pequeña industria que se dedique a realizar tableros aislantes de ruido, utilizando como materia prima residuos de lodo no peligroso, y de esta manera cuidar y conservar el ambiente, con un desarrollo sostenible para el país.



## **Objetivo General**

Aprovechar los lodos residuales no peligrosos de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la fabricación de sanitarios mediante la elaboración de tableros aislantes de ruido.

## **Objetivos específicos**

- Caracterizar física y químicamente el lodo residual, de acuerdo a la actividad de la industria, para determinar que no es un desecho peligroso al no exceder los límites máximos permisibles según la resolución 002.
- Definir los materiales y su dosificación para la elaboración de la mezcla que conformará los tableros aislantes de ruido.
- Determinar las variables influyentes y los rangos de operación en la elaboración de tableros aislantes de ruido mediante un diseño experimental.
- Diseñar tableros aislantes de ruido, a escala piloto, usando el lodo residual no peligroso.
- Analizar la eficacia de los tableros aislantes de ruido mediante la medición del índice de aislamiento acústico a escala piloto.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Industria cerámica**

La cerámica ha sido uno de los productos más utilizados por el hombre desde hace muchos años atrás; en consecuencia a estudios e investigaciones desarrollados a piezas cerámicas encontradas bajo tierra en muchos lugares del mundo, se puede aludir que las técnicas de elaboración de piezas cerámicas, han sido perfeccionadas con el tiempo, además de que una gran revolución causó la industrialización de los pueblos marcando grandes cambios en la historia, cultura, y modo de vida de la humanidad.

La cerámica, hoy en día, se define como un objeto elaborado a partir de materiales o sustancias inorgánicas que en primera instancia necesitan ser moldeadas para luego ser endurecidas bajo la acción del fuego (Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, 2005, p.1).

En la actualidad son varios los países que se dedican a la producción de cerámica en el mundo, piezas cerámicas de varios tipos y para diversas utilidades, la industria cerámica ha generado un gran fondo monetario a los países que la producen, gracias a su gran acogida en el mercado. El presente trabajo de investigación ha tenido un enfoque en los productos de cerámica elaborados para la construcción, tales como baldosas de cerámica, azulejos, refractarios, porcelana sanitaria, entre otros.

En el año 2011, frente a la producción mundial de cerámicas para la construcción del año 2010, se registró un aumento del 10,1%; destacándose el continente asiático con el 68,3% de la producción total, seguido por la Unión Europea con el 11%, América del Sur con el 10%, África con el 3%, y Estados Unidos y México con el 3%. Los seis países que poseen mayor producción de cerámicas para la construcción son China, Brasil, India, Irán, Italia y España (CESCE, 2013, pp. 3 – 6).

En el Ecuador de 500217 establecimientos económicos 47867 se encuentran dentro del sector manufactura. Según su clasificación internacional industrial uniforme (CIIU), existen 17 establecimientos dedicados a la fabricación de otros productos de porcelana y cerámica, de los cuales solo EDESA S.A. y Franz Viegener S.A. elaboran porcelana sanitaria y accesorios para baños (CENEC, 2010).

### **1.1.1 Materias primas utilizadas en el proceso de elaboración de cerámica sanitaria**

La cerámica sanitaria es elaborada con un tipo de pasta cuya clasificación es asociada dentro de las pastas tradicionales debido a que sus productos, de acuerdo a su función, son plásticos y no plásticos. Principalmente la porcelana

sanitaria necesita tener propiedades tales como alta resistencia, absorción de agua casi nula, y vitrificación (Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, 2005, pp. 1 - 32).

**Materias primas plásticas.-** A este grupo comprenden principalmente las arcillas, caolines y bentonita. Se las define como material inorgánico sedimentario formado por partículas de diámetro muy fino (de 1 a 0,01 micras) que al ser humedecidas tienen la característica de ser plásticas y moldeables, y al someterlas al calor endurecen conservando su forma (Avgustinik, 1983, p.66).

Las arcillas contienen otros minerales denominados acompañantes o asociados, tales como cuarzo, feldespatos, calcita y pirita.

Pueden provenir de medios sedimentarios de mar, lagos o de reservorios continentales de cualquier edad; primordialmente de terrenos terciarios o cuaternarios que conservan su plasticidad al no sufrir metamorfismo (Galán y Aparicio, 2011, p.33).

**Materias primas no plásticas.-** Se las define como material mineral inorgánico, su principal función en la conformación de la pasta cerámica es reducir la plasticidad y el tiempo de secado; actúan como carga y reductores de la contracción del cuerpo durante el secado y luego de la cocción. Durante el proceso térmico cumplen la principal función de controlar las transformaciones cristalinas, la sintonización y las deformaciones (Hevia, 2012, pp. 48 – 49).

Los principales minerales son feldespatos, cuarzo, talco, pirofilita, arenas silíceas, calcita, dolomita, óxidos de hierro y otros elementos; estos minerales actúan principalmente como fundentes, estructurantes, inertes, o pigmentos. (Galán y Aparicio, 2011, p.33).

Ecuador, debido a su geología, es conocido como territorio de alta densidad de ocurrencias mineralógicas; dispone de varios minerales no metálicos, los más importantes la caliza, mármol, arcilla, yeso, piedra pómez, baritina y bentonita.

En la zona subandina y región oriental existen grandes yacimientos de arena silíceas, al sur del país predomina la explotación de yeso, al centro del país en la provincia de Cotopaxi se encuentra el yacimiento más grande de piedra pómez, en todas las provincias del país se hallan materiales áridos como andesitas, basaltos, granitos, pizarra, puzolanas, arenas y gravas; y a lo largo de toda la cordillera de los Andes se localiza gran potencial no investigado de rocas graníticas y pegmatíticas (Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000, pp. 277 – 280).

### 1.1.2 Proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria

En general el proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria comprende: recepción de materias primas, molienda, mezcla, moldeo, secado, esmaltado, cocción y preparación y almacenamiento del producto terminado.

Tabla 1. Proceso productivo de la elaboración de la cerámica

Recepción de materias primas	Los materiales inorgánicos necesarios, definidos por un departamento de investigación y desarrollo de cada industria para la producción de pasta cerámica, son transportados hacia la planta industrial donde se los almacena para su posterior uso. Internamente son transportados mecánicamente por maquinaria pesada o cintas transportadoras.
Molienda	Las materias primas son trituradas para darles la granulometría y textura definida para la composición de la pasta cerámica. Se las puede triturar por vía seca o por vía semi-húmeda. La maquinaria utilizada puede ser molino de martillo o muelas, desmenuzadora, o rallador alimentador rotativo.
Mezcla o amasado	Consiste en regular el contenido de agua de la mezcla, mediante la adición de agua o vapor, para poder mantener una mezcla homogénea cuando se trabaja. La

	maquinaria utilizada puede ser un amasador.
Moldeo	Este proceso difiere de acuerdo al producto a fabricar; para la elaboración de cerámica sanitaria el sistema de moldeo empleado es por colada. Consiste en llenar un molde con la colada o pasta cerámica elaborada para luego de un determinado tiempo desmoldar la pieza cerámica y pulirla de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas.
Secado	Proceso que se realiza para disminución del contenido de humedad de las piezas cerámicas sanitarias para poder ser esmaltadas antes de su cocción. El tipo de secado que se lleve a cabo en el proceso productivo de cerámica sanitaria influirá en la resistencia y calidad de la pieza luego de su cocción. El secado se lo realiza en un secadero. Hoy en día el mercado ofrece una variedad de tipos de secaderos y se los puede elegir de acuerdo a las necesidades y especificaciones técnicas de cada industria.
Esmaltado	Consiste en aplicar una capa continua y uniforme de esmalte o barniz, por medio de pincel, baño de inmersión, o aspersión con alguna herramienta como pistola, spray o soplete. El esmalte es un material líquido formulado por materiales inorgánicos (minerales), principalmente fritas, su finalidad es desarrollar superficies lisas e impermeables para facilitar su limpieza, mejorar su resistencia química y sus propiedades mecánicas como la resistencia al rayado y a la abrasión (Ortiz, Carvajal, Vallejo y Yugsi, 2014, pp. 1 - 2).
Cocción	Es la fase más importante del proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria, consiste en someter a las piezas cerámicas a altas temperaturas (entre 875 y 1500 grados centígrados) para que adquieran las

	propiedades deseadas tales como resistencia, color y brillo. Se utilizan dos tipos de hornos para llevar a cabo la fase de cocción; los hornos túneles o continuos que poseen una zona de fuego fija y las piezas se desplazan a través de los mismos, y los hornos intermitentes en los cuales las piezas se mantienen estáticas y las zonas de fuego se desplazan a través de las mismas.
Preparación y almacenamiento	Una vez que las piezas cerámicas sanitarias son calificadas y aprobadas por el cumplimiento de control de calidad y estándares determinados, pasan a la fase de preparación donde se les coloca las etiquetas de la marca patentada, herramientas e insumos (herrajes) para su correcto funcionamiento, y embalaje. Las piezas cerámicas sanitarias elaboradas y embaladas son almacenadas en naves o bodegas cerradas o a la intemperie para luego ser dispuestas a la venta según los requerimientos del cliente.

Adaptado de UPME y COLCIENCIAS, 2007, pp. 4 – 11

### **1.1.3 Residuos generados en el proceso productivo para la elaboración de cerámica sanitaria**

La producción de cerámica sanitaria, al igual que todas las industrias, genera distintos tipos de residuos propios del proceso productivo, y por actividades de mantenimiento, empaquetado y embalaje del producto, limpieza, administración del negocio y por servicios de alimentación del personal.

De acuerdo a la legislación ambiental vigente para el Ecuador, la industria de cerámica sanitaria, produce dos tipos de residuos que son catalogados como residuos peligrosos y residuos no peligrosos.



Según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), los residuos no peligrosos son sustancias (sólidas, líquidas, gaseosas o pastosas) u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligando a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional vigente (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, 2003, p. 252).

Los residuos no peligrosos pueden recibir tratamientos para su reciclaje o reutilización, además pueden ser dispuestos adecuadamente en un relleno sanitario sin preocupación de las consecuencias medio ambientales y a la

salud que puedan generar debido a que sus componentes no generan riesgo alguno (Ibañez, Gómez, Bovea, Gallardo y Colomer, 2011, p. 38).

Según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), los residuos peligrosos son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, 2003, p. 253).

De acuerdo a lo estipulado en el libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, todo el sector industrial es el responsable de que los residuos peligrosos generados reciban el tratamiento técnico correspondiente previo a su disposición final y con el fin de cumplir con los parámetros de control vigentes (Ibañez, Gómez, Bovea, Gallardo y Colomer, 2011, p. 39).

## **1.2 Tipos de tratamiento de aguas residuales no domésticas para el sector cerámico**

Las aguas residuales no domésticas provenientes del proceso de elaboración de la cerámica sanitaria se generan por el subproceso de moldeo de las piezas cerámicas en crudo (con un porcentaje de humedad) y en seco, por enjuague del esmalte residual retenido en las cabinas de esmaltado, y producto de la limpieza durante la preparación del material.

El principal tipo de tratamiento que se puede dar a las aguas residuales no domésticas provenientes de la elaboración de cerámica sanitaria, es un pre-tratamiento y/o tratamiento primario, basado en la sedimentación de materiales, debido a que sus aguas contienen básicamente los mismos materiales empleados en la preparación de la mezcla, pasta o colada que conforman las piezas cerámicas sanitarias; es decir su concentración de materiales pesados es mínima (siempre que el esmalte sea preparado por material mineral



inorgánico) y no existe presencia de materia orgánica (Asociación Alemana de Saneamiento, 1988, pp. 4 – 5).

### 1.2.1 Pre-tratamiento

El pre-tratamiento o tratamiento preliminar consiste en elaborar un sistema basado en procesos físicos tales como desbaste, desarenado o desengrasado, con el fin de eliminar o separar todo material grueso (de mayor tamaño), arenas y grasas del agua a ser tratada (Banchón, 2011, pp. 5 – 6).

**Desbaste.-** Proceso físico que se lleva a cabo mediante el uso de rejillas para la separación de materiales voluminosos que se encuentran en suspensión en el agua a tratar.

Existen diversos tipos de rejillas, se las clasifica de acuerdo a su función.

- a) Según su inclinación: horizontales, verticales o inclinadas.
- b) Según su separación entre barras: finas (<1,5 cm), medias (entre 1,5 y 5 cm) o gruesas (entre 5 y 15 cm).
- c) Según su tipo de limpieza: manual o automática.

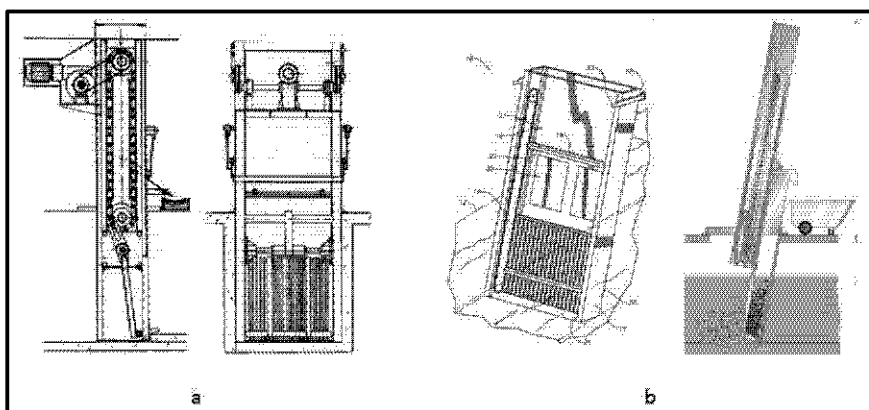


Figura 4. Tipo de rejillas para proceso de desbaste.

Tomado de Pérez y Urrea, 2011, pp. 3 – 4

a. Rejilla de tipo vertical. b. Rejilla de tipo inclinada

Los materiales recuperados manual o automáticamente se los cataloga como residuos industriales y pueden recibir un tratamiento específico de acuerdo a su clasificación (residuos peligrosos o no peligrosos), previo a su disposición final (Pérez y Urrea, 2011, pp. 2 – 8).

**Desarenado.-** Proceso físico que se lo lleva a cabo mediante la instalación de un desarenador al sistema de tratamiento de aguas, con el fin de remover del agua cruda las partículas (diámetro mayor a los 2 milímetros) que se encuentran en suspensión gruesa para evitar daños en los equipos (bombas) que son utilizados luego del pre-tratamiento, evitar la producción de depósitos en las obras de conducción, y evitar sobrecargas en los procesos posteriores.

El desarenado se basa en otro proceso físico, la sedimentación, que es el depósito y asentamiento de la materia en suspensión en el agua por acción de la gravedad.

Un desarenador está compuesto por cuatro zonas; la zona de entrada donde se logra una distribución uniforme del flujo y de la velocidad del flujo, la zona de desarenación donde se realiza el proceso de depósito de las partículas por acción de la gravedad, la zona de salida donde se controla la velocidad del flujo para mantener la sedimentación de las partículas, y la zona de depósito y eliminación de las partículas sedimentadas donde las partículas sedimentadas se deslizan a través de una tolva hacia el canal de limpieza de sedimentos (Organización Panamericana de la Salud, 2005, pp. 3 – 9).

**Desengrasado.-** Proceso físico que consiste en separar las grasas presentes en el agua a ser tratada, este proceso se basa en la retención por flotación debido a la diferencia de densidades de las grasas y del agua.

Resulta de suma importancia realizar el proceso de desengrasado ya que las grasas pueden perjudicar al resto de procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales; pueden causar obstrucciones aumentando costos de conservación del sistema, dificultar la sedimentación debido a la retención de

partículas en la superficie, e incrementar la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Existen tres sistemas empleados para el proceso de desengrasado:

- a) El uso de tanques separadores de grasas cuya estructura permite que las grasas se retengan flotando en la superficie hasta ser removidas y que la salida del flujo de agua sea continua por una abertura situada en el fondo,
- b) la emulsión de las grasas en el desarenador mediante aireación permitiendo su ascenso a la superficie para su remoción,
- c) y la separación de grasas en las balsas de decantación (García, 2006, pp.14 – 16).

### **1.2.2 Tratamiento primario**

El tratamiento primario consiste en elaborar un sistema basado en procesos físico-químicos tales como flotación, coagulación y floculación, o sedimentación, con el fin de reducir del agua en tratamiento la materia suspendida y flotante que no pudo ser retenida en el pre-tratamiento (Banchón, 2011, pp. 5 – 6).

**Flotación.-** Proceso físico que consiste en eliminar las partículas de menor densidad que el agua, que se encuentran en suspensión, por acción de la generación de microburbujas de aire disuelto que se unen con las partículas formando agregados capaces de flotar. La creación de microburbujas se realiza por presurización de un flujo de agua, disolución de aire en flujo sobresaturado, y despresurización a presión atmosférica (Tecexsa, 2006, pp. 4 – 6).

**Coagulación.-** Proceso químico basado en la adición de un electrolito (comúnmente sal de hierro o aluminio) al agua, llamado coagulante, el coagulante libera los iones positivos capaces de atraer partículas y neutraliza su carga o forma productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando las partículas.

Para llevar a cabo el proceso de floculación es importante tomar en cuenta el pH necesario para el margen de trabajo del electrolito añadido, y la agitación mecánica de la mezcla para lograr una distribución homogénea del reactivo agregado en el agua a tratar en un tiempo mínimo (tiempo de formación de coagulantes es muy corto) (Tecexsa, 2006, pp. 6 – 7).

**Floculación.-** Proceso químico basado en la adición de un agente floculante, de origen sintético o natural (minerales u orgánicos), con el fin de unificar los coágulos formados. El tipo de floculante a seleccionar depende de las cargas eléctricas a añadir, pueden ser iónicos, aniónicos o catiónicos. Los floculantes actúan de forma similar a los coagulantes, rebajan la carga de las partículas para desestabilizarlas y unir las o forman puentes entre las partículas para crear un gran polímero que tendrá la propiedad de sedimentar por aumento de densidad (Tecexsa, 2006, p. 7).

**Sedimentación.-** Proceso físico basado en la separación de sólidos que se encuentran en suspensión en el agua en tratamiento, debido a su precipitación por la diferencia de peso específico entre partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. La velocidad de precipitación de las partículas depende principalmente de su tamaño, a mayor tamaño en unidades de micra o milímetros, menor es el tiempo de precipitación como se muestra en la tabla N°2.

Tabla 2. Sedimentación de partículas

<b>Material</b>	<b>Milímetros (mm)</b>	<b>Micras (µm)</b>	<b>Tiempo de sedimentación (en un metro)</b>
<b>Grava</b>	10	10000	1 s
<b>Arena gruesa</b>	1	1000	10 s
<b>Arena fina</b>	0,1	100	125 s
<b>Limo</b>	0,01	10	108 min
<b>Bacterias</b>	0,001	1	180 h

<b>Material coloidal</b>	0,0001	0,1	755 días
--------------------------	--------	-----	----------

Adaptado de Kemmer y McCalion, 1990, p. 13

Existen tres tipos de sedimentación; la sedimentación discreta donde las partículas precipitadas mantienen su individualidad sin cambiar sus propiedades físicas, la sedimentación con floculación donde la aglomeración de las partículas cambian su densidad y velocidad de precipitación y la sedimentación por zonas donde las partículas forman una especie de manta que precipita como una masa total presentando una interfase pronunciada

El proceso de sedimentación se lleva a cabo en tanques cuyo volumen depende de la cantidad de agua a tratar. En la actualidad se han desarrollado varios modelos cuya estructura direcciona de mejor manera la remoción de las partículas sedimentadas (Ramalho, 2003, pp. 2 – 18).

### **1.3 Lodos industriales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas para el sector cerámico**

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales genera lodos o fangos de apariencia pastosa, los lodos son materiales heterogéneos y su composición depende esencialmente de la procedencia del agua residual que se ha tratado y de los procesos empleados en su tratamiento.

Una vez precipitados los lodos en el tanque sedimentador, estos son transportados hacia un medio de extracción de agua; los lodos pueden ser deshidratados por medio del uso de prensas tamizadoras de banda o centrifugadoras (Asociación Alemana de Saneamiento, 1988, p. 5).

Por lo anteriormente descrito en este capítulo, la composición del lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas para el sector cerámico es definida por las materias primas utilizadas en la preparación de la pasta mezcla o colada y el esmalte para la elaboración de piezas cerámicas sanitarias.

### **1.3.1 Caracterización físico-química de lodos residuales del sector cerámico**

La caracterización de lodos residuales se la realiza para determinar su composición y calidad mediante el empleo de métodos ya establecidos para la definición de parámetros físicos y químicos con el fin de conocer si los valores de cada parámetro están dentro del rango permisible establecido en la normativa ambiental vigente.

El análisis de parámetros se los realiza de acuerdo a las normas técnicas establecidas; algunos de los parámetros a analizar para la caracterización del lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas del sector cerámico son conductividad eléctrica, pH, temperatura, textura, y contenido de agua, arena, materia orgánica, arsénico, cadmio, cinc, cobre, mercurio, níquel, plomo y selenio (Zagal y Sadzawka, 2007, p. 2).

### **1.3.2 Aprovechamiento de lodos residuales del sector cerámico**

El lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales del proceso de fabricación de cerámica sanitaria tiene un alto potencial para ser aprovechado debido a su carencia de metales pesados y material orgánico, y a sus componentes ricos en materiales minerales.

Al implementar buenas prácticas ambientales en el proceso de producción de cerámicas sanitarias y al tener un sistema de captación de aguas residuales por separado (captación de aguas residuales sin esmalte), los lodos residuales podrían ser reciclados en el proceso. Pese a esto, en la actualidad, gracias al avance tecnológico y al desarrollo de investigación, se han dado maneras distintas para aprovechar los lodos residuales del proceso de elaboración de cerámica sanitaria mediante su reutilización (reintroducción de productos finales, subproductos o residuos en un nuevo ciclo de producción).

A continuación se describen algunas de las técnicas de reutilización practicadas para lodos residuales del proceso de elaboración de cerámica sanitaria.

- a) Cerámicas expandidas: al ser expuesto a altas temperaturas el lodo residual compuesto con residuos de esmalte y abrasivos de carburo de silicio, el material sufre una dilatación volumétrica y se vitrifica capturando en su interior el gas resultante, formando un producto final cerámico expandido (Faraco, Riella y Bernardin, 2007, pp. 2 – 4).
- b) Se han realizado pruebas y estudios en el laboratorio de EDESA S.A. para determinar la factibilidad de elaboración de cerámica plana, tejas y ladrillos conformados por lodo residual proveniente de la fabricación de sanitarios al someterlos a altas temperaturas, se conoce que se han obtenido buenos resultados.

Los materiales que componen el lodo residual son útiles para la industria de la construcción como materiales de relleno, además de que poseen propiedades de insonorización y aislamiento térmico (Faraco, Riella y Bernardin, 2007, p. 1).

#### **1.4 Aislamiento acústico**

Cuando una fuente sonora emite energía, las ondas producidas se propagan radialmente en todas las direcciones a partir de ella, y cuando encuentran un obstáculo (superficies interiores) estas se reflejan (cambian de dirección) con menor energía debido a que el material roba energía mediante absorción.

El aislamiento acústico consiste en impedir la propagación de las ondas sonoras a través del aire, mediante diferentes obstáculos reflectores, es necesario el uso paredes duras y pesadas que reflejen la energía y no la absorban, aunque se puede realizar amortiguamiento del sonido mediante la absorción del mismo. Se define como la diferencia entre el nivel de presión sonora incidente y el nivel de presión sonora transmitida

Algunos ejemplos de materiales aislantes de ruido pueden ser ladrillos macizos, ladrillos de diferentes tamaños, ladrillos huecos, materiales con yeso, fibras de diferentes densidades, entre otros. Los métodos más simples son el uso de materiales aislantes rellenos de materiales densos o plásticos, el método más efectivo es el uso de cámaras de aire entre la estructura de la edificación y el recinto.

La propagación de las ondas sonoras, entre dos recintos juntos o desde el exterior a un recinto, se producen por dos vías; por vía directa a través del elemento constructivo de separación, esta depende en su totalidad del material empleado, y por vía indirecta o de flancos debido a las vibraciones de los elementos de conexión al elemento de separación principal. Si los recintos se encuentran dispuestos uno sobre otro, la emisión de ruido en el piso de un recinto se propaga directa o indirectamente hacia el recinto que se encuentra debajo (Liarte, 2013, pp. 22 - 26).

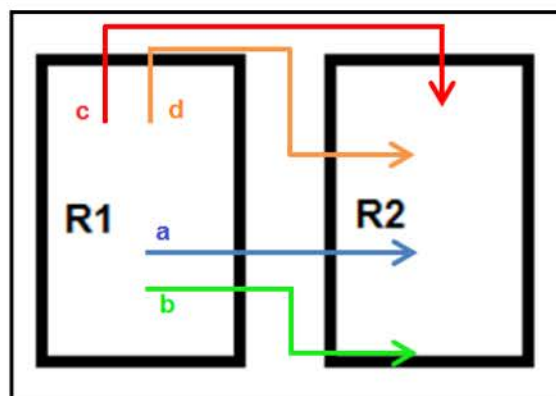


Figura 5. Esquema de vías de transmisión de ondas sonoras entre el recinto receptor (R1) y el recinto receptor (R2).

Adaptado de Pladur Barcelona, 2012.

a. Transmisión directa. b. Transmisión directa – flanco. c. Transmisión de flanco a flanco. d. Transmisión flanco - directo

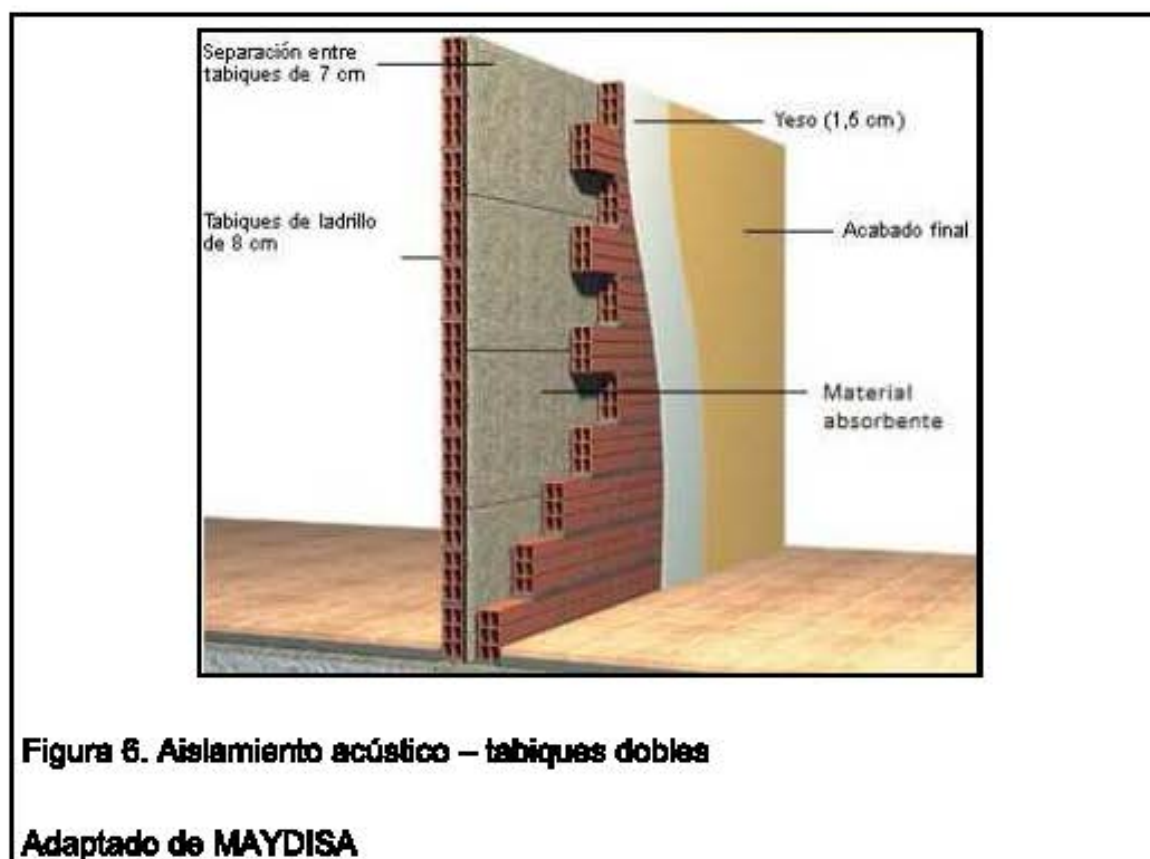


Es importante tomar en cuenta, para el aislamiento de recintos, que las paredes, piso y techo actúan de la misma manera (Recuero López, 2000, pp. 503 - 519).

#### 1.4.1 Tabiques dobles o paredes dobles

También se los conoce como **aislación acústica masa – resorte – masa**, y se define como **aislamiento acústico planteado por múltiples particiones (dos masas) separadas para la formación de una cámara (para el desgaste y transformación de la energía de las ondas sonoras) con el fin de aumentar el espesor del medio por el que las ondas se transmitirán.**

Es recomendable que las dos masas posean diferentes materiales y espesores, y que el volumen y distancia entre las dos masas (cámara) genere una **cavidad de resonancias**; incluso se puede añadir material absorbente entre las dos masas para mejor aislamiento acústico.



### 1.4.2 Materiales absorbentes de ruido

Los materiales absorbentes sonoros son aquellos que reducen el nivel de energía de las múltiples reflexiones que persisten en el tiempo en un local.

Las pérdidas de energía en los materiales se pueden caracterizar mediante el coeficiente de absorción sonora  $\alpha$ , entendiendo por tal la relación entre la energía sonora absorbida por un material y la energía sonora incidente sobre dicho material por unidad de superficie; depende de la naturaleza del material, la frecuencia de la onda sonora, y del ángulo con el que la onda incide sobre la superficie (Recuero López, 2000, pp. 503 - 519).

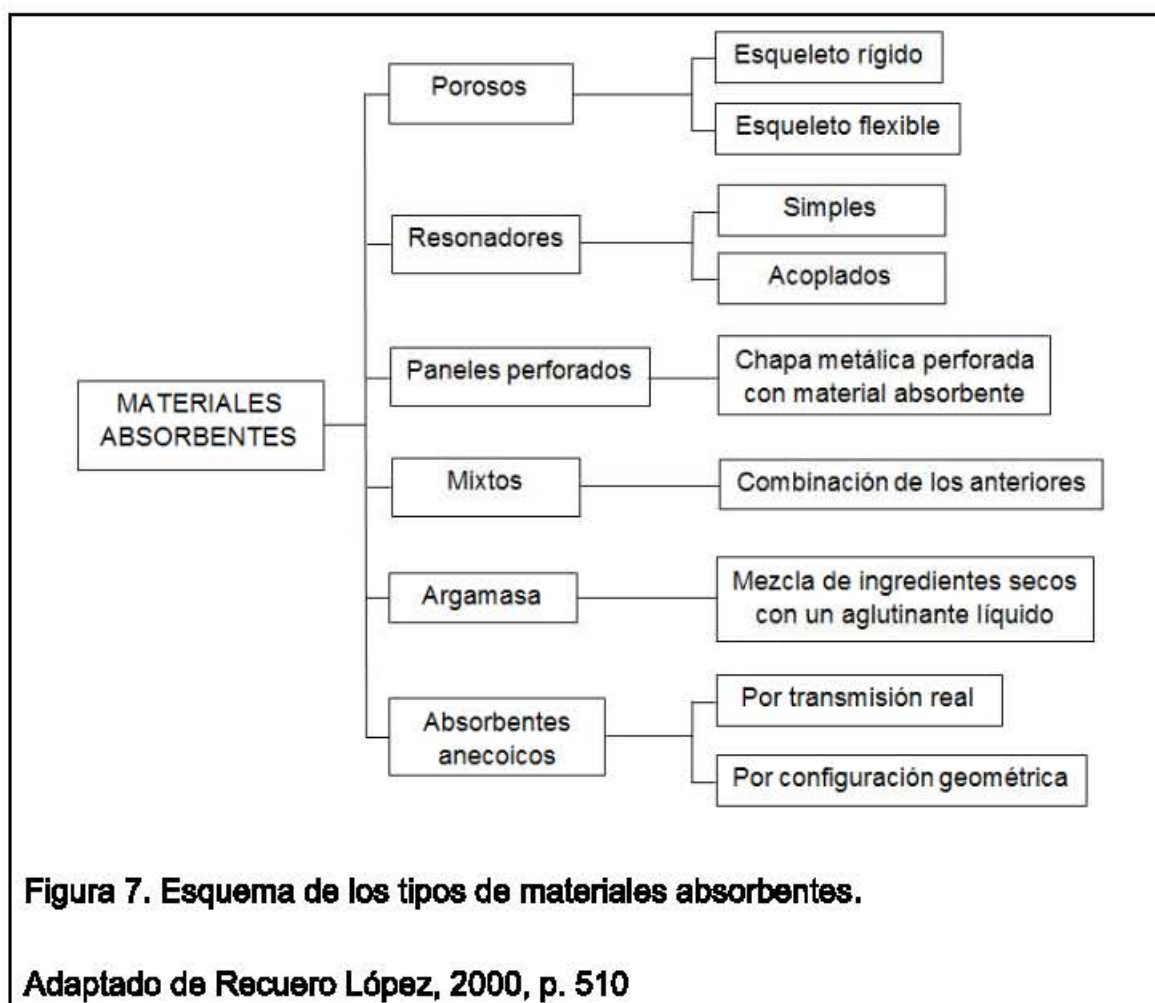


Figura 7. Esquema de los tipos de materiales absorbentes.

Adaptado de Recuero López, 2000, p. 510

### **1.5 Métodos para medición de aislamiento acústico**

Existen dos grupos de procedimientos para medir el aislamiento acústico; procedimientos de laboratorio y procedimientos in situ, procedimientos normalizados bajo las normas españolas UNE EN ISO.

Las normas de laboratorio aplicables al presente trabajo de investigación son: UNE EN ISO 140-1 referente a los requisitos de las instalaciones de los laboratorios sin transmisiones indirectas, y UNE EN ISO 140-3 referente a la medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio de los elementos de construcción.

Las normas de mediciones in situ aplicables al presente trabajo de investigación son: UNE EN ISO 140-4 referente a la medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo entre locales, y UNE EN ISO 140-5 referente a la medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y fachadas.

Las normas anteriormente mencionadas describen ciertos requisitos que se deben seguir como:

- a) Equipos: deben ser de clase 0 o 1, calibración antes de cada medición, filtros de acuerdo a los requisitos, y la fuente sonora debe crear en el recinto un campo sonoro uniforme y estable.
- b) Disposición del ensayo: los recintos deben ser vacíos, de igual tamaño y dimensión.
- c) Procesos: mediciones en bandas de frecuencias de 1/3 de octava, el espectro emisor no debe presentar variaciones de niveles mayores a 6 dB, la potencia de la fuente sonora debe ser alta y debe generar un campo sonoro difuso, la posición de micrófonos, el tipo de fuente sonora, número de mediciones, tiempo de medición, otros

Además de los requisitos, las normas describen una serie fórmulas, para la obtención de variables necesarias en la determinación del aislamiento acústico de un recinto y/o de los materiales utilizados (Menéndez, 2008, pp.13 – 20).

## **2. ANALISIS DE MATERIALES**

### **2.1 Caracterización de lodos industriales**

Con respecto a la caracterización del lodo industrial, este proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas del proceso de fabricación de sanitarios, se lo realizó física y químicamente.

#### **2.1.1 Caracterización física del lodo**

La caracterización física se la llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad de las Américas donde se analizaron parámetros tales como humedad, sólidos totales, temperatura, potencial hidrógeno, conductividad eléctrica y textura. Los análisis se realizaron a siete muestras compuestas que fueron tomadas durante los siete días de una semana.

El muestreo del lodo residual se lo realizó en la fosa de lodos de la empresa EDESA S.A., ubicada bajo la prensa compactadora. La fosa tiene un volumen total aproximado de 5,6 m<sup>3</sup>.

Para la obtención de la muestra compuesta se tomó lodo residual de varios puntos de la fosa como se indica en la figura 8, para luego ser homogenizado y reducido mediante el método de cuarteo manual. Finalmente se obtuvo una muestra representativa para ser analizada en laboratorio.



**Figura 8. Toma de muestra compuesta de lodo residual.**

#### **2.1.1.1 Humedad y sólidos totales**

Para el análisis de los parámetros de humedad y sólidos totales se desarrollaron los siguientes pasos:

1. Se pesaron siete cajas petri en la balanza digital y se registraron los datos obtenidos.
2. En cada caja petri se pesaron 50 gramos de cada una de las siete muestras compuestas. Se registraron los datos.
3. Se colocaron las cajas petri, debidamente rotuladas, en la estufa a 105 grados centígrados durante 24 horas.
4. Se colocaron las cajas petri en el desecador para enfriarlas y evitar que se genere humedad.
5. Una vez enfriadas las cajas petri se pesaron y se registraron los datos.



Figura 9. Pasos para analizar el parámetro de humedad y sólidos totales.

Con los datos registrados se procedió a realizar los cálculos para determinar el porcentaje de agua y sólidos totales del lodo residual.

Para determinar el porcentaje de agua del lodo residual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Agua (\%)} = \frac{a-b}{a-c} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

- a = masa en g de la muestra de lodo residual + recipiente
- b = masa en g del lodo seco a 105 °C + recipiente
- c = masa en g del recipiente (Zagal y Sadzawka, 2007, p. 12)

Tabla 3. Valores obtenidos en el análisis de laboratorio para determinación de porcentaje de agua.

<b>N° muestra</b>	<b>Valor de a (gr.)</b>	<b>Valor de b (gr.)</b>	<b>Valor de c (gr.)</b>
<b>M1</b>	92,337	77,758	41,563
<b>M2</b>	92,800	78,670	42,286
<b>M3</b>	94,825	80,674	43,707
<b>M4</b>	93,299	79,319	43,227
<b>M5</b>	94,070	79,768	42,800
<b>M6</b>	89,570	76,686	42,703
<b>M7</b>	97,797	83,885	47,321

Para determinar el porcentaje de sólidos totales del lodo residual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{b-c}{a-c} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

a = masa en g de la muestra de lodo residual + recipiente

b = masa en g del lodo seco a 105 °C + recipiente

c = masa en g del recipiente (Zagal y Sadzawka, 2007, p. 12)

Tabla 4. Valores obtenidos en el análisis de laboratorio para determinación de porcentaje de sólidos totales.

<b>N° muestra</b>	<b>Valor de a (gr.)</b>	<b>Valor de b (gr.)</b>	<b>Valor de c (gr.)</b>
<b>M1</b>	92,337	77,758	41,563
<b>M2</b>	92,800	78,670	42,286
<b>M3</b>	94,825	80,674	43,707

<b>M4</b>	93,299	79,319	43,227
<b>M5</b>	94,070	79,768	42,800
<b>M6</b>	89,570	76,686	42,703
<b>M7</b>	97,797	83,885	47,321

### **2.1.1.2 Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica**

Para el análisis del parámetro de temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica se desarrollaron los siguientes pasos:

1. Las siete muestras compuestas de lodo residual se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas.
2. Se molieron las siete muestras secas independientemente y se tamizaron a 2 milímetros.
3. Se pesaron 20 gramos de cada muestra tamizada y se añadió 50 mililitros de agua destilada a cada una.
4. Se mezcló con imanes en el agitador durante 5 minutos cada solución.
5. Se dejaron reposar durante 30 minutos las siete soluciones.
6. Se midió la conductividad eléctrica, el potencial hidrogeno y la temperatura a cada solución con el conductivímetro y el pH-metro. Se registraron los datos.



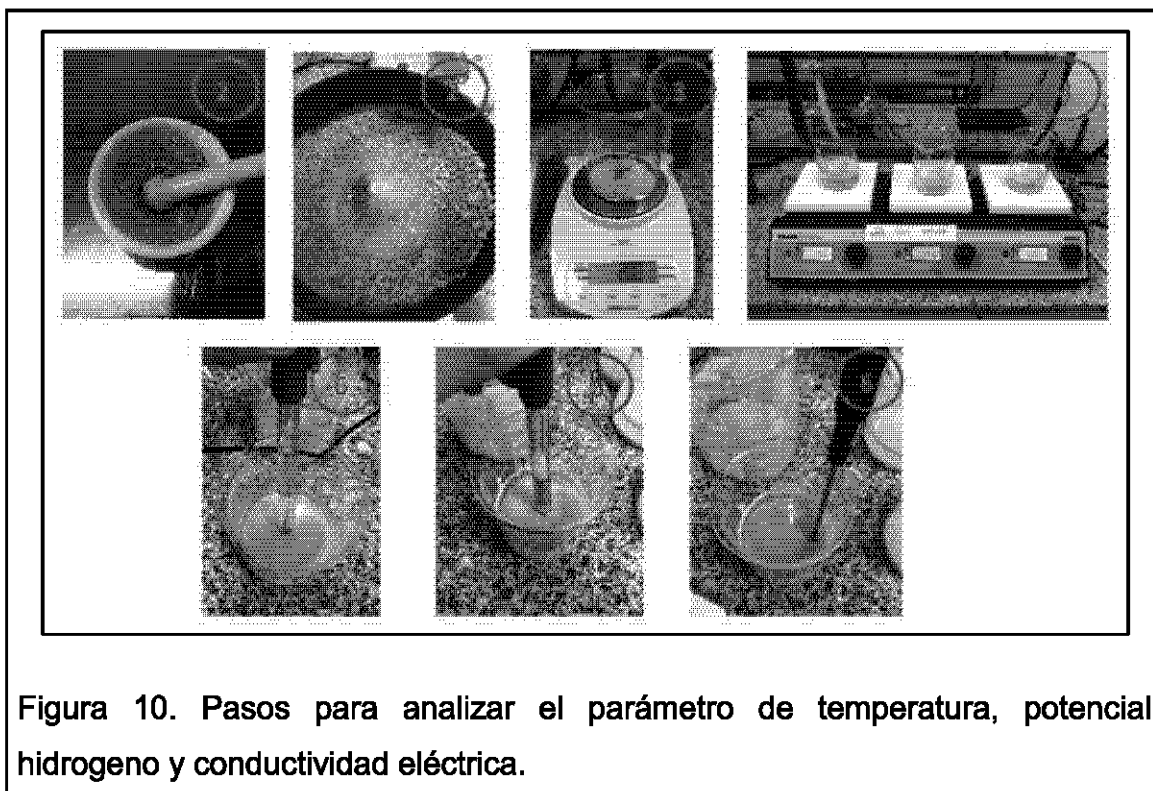


Figura 10. Pasos para analizar el parámetro de temperatura, potencial hidrogeno y conductividad eléctrica.

### 2.1.1.3 Textura

Para el análisis del parámetro de textura se desarrollaron los siguientes pasos de acuerdo al método Bouyoucos:

1. Las siete muestras compuestas de lodo residual se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas.
2. Se molieron cada una de las muestras y luego se hizo pasar cada muestra por un tamiz de 2 milímetros.
3. Se pesaron 50 gramos de cada muestra tamizada en vasos de precipitación.
4. Se añadieron 50 mililitros de hexametáfosfato de sodio al 5 por ciento, a cada muestra, y se dejó reposar durante 24 horas.
5. Cada solución se vertió en un vaso de la batidora más agua destilada utilizada para no dejar solución en el vaso de precipitación.
6. Se mezclaron independientemente las siete soluciones en la batidora durante 5 minutos.

7. Se colocó cada solución en una probeta de 1000 mililitros y se añadió agua destilada hasta tener 1000 mililitros de solución.
8. Con un termómetro se midió la temperatura de cada solución y se registraron los datos.
9. Se agitaron las siete soluciones con una barra de vidrio y se dejó reposar durante 40 segundos.
10. Se midió la densidad de cada solución con un hidrómetro y se registraron los datos.
11. Después de dos horas se volvió a medir la temperatura y la densidad de cada muestra y se registraron los datos.

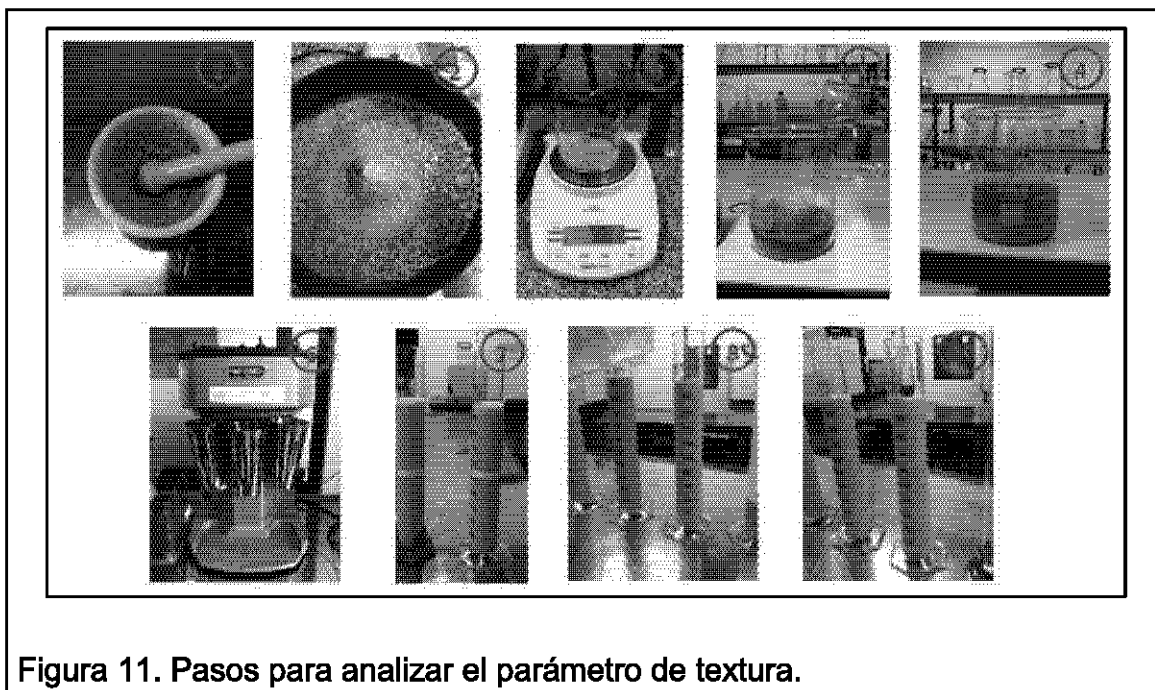


Figura 11. Pasos para analizar el parámetro de textura.

Para determinar la textura de las siete muestras analizadas se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Arena (\%)} = 100 - \frac{(x+fc)*100}{z} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{Arcilla (\%)} = \frac{(y+fc)*100}{z} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Limo (\%)} = 100 - \text{Arena (\%)} - \text{Arcilla (\%)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

x = primera lectura del hidrómetro de Bouyoucos

y = segunda lectura del hidrómetro de Bouyoucos

z = masa en g de la muestra tamizada

fc = factor de corrección por temperatura

La temperatura tomada en las siete muestras fue 19 grados centígrados, tanto para la primera como para la segunda muestra. El factor de corrección por temperatura para 19 grados centígrados es 0.

Tabla 5. Valores obtenidos en el análisis de laboratorio para determinación de porcentajes de arena, arcilla y limo de las muestras analizadas

N° muestra	Valor de x (gr/L)	Valor de y (gr/L)	Valor de z (gr.)
M1	44	28	50
M2	51	30	50
M3	50	31	50
M4	45	31	50
M5	47	31	50
M6	45	30	50
M7	44	29	50

#### 2.1.1.4 Radiación gamma

Dentro de la caracterización física es importante, que se realice a la muestra de lodo residual un análisis de espectrometría gamma, debido a que el objetivo del presente proyecto de investigación está orientado a la fabricación de tableros aislantes de ruido para uso en ambientes cerrados, donde la población estará expuesta directamente al material.

El análisis de espectrometría gamma de la muestra de lodo se la realizo mediante la prestación de servicios de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN); después de realizar los trámites administrativos necesarios, la muestra fue entregada el 17 de junio del 2014 para su análisis.

Las técnicas que se utilizaron en la SCAN para el análisis fueron: conteo en detector de sulfuro de zinc mediante tratamiento de la muestra por evaporación directa, curvas de autoabsorción de americio (Am-241) y estroncio (Sr-90), conteo por centello líquido media mediante lectura con coctel centellador y curvas de quenching, y espectrometría gamma con detector semiconductor de germanio hiperpuro.

Los equipos que se utilizaron en el análisis de espectrometría gama fueron: contador de sulfuro de zinc alfa – beta LUDLUM, contador de centello liquido Packard 1600 TR y espectrómetro gamma Camberra de siete por ciento de eficiencia (7%) y de 2,0 de resolución.

El tiempo real de análisis de la muestra fue de 24,037 horas; los resultados del análisis fueron entregados a los diez días calendario de la recepción de muestra, el anexo 1 contiene el informe de análisis de contenido radiactivo y el espectro energético resultante de la lectura de la muestra de lodo analizada.

En el Ecuador no existe normativa que establezca los valores máximos permisibles para el control de radiación ionizante, es por eso que la SCAN se rige a las normas de seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), donde se establecen los valores de concentración de actividad por exclusión, exención o dispensa; el enfoque sobre exclusión deriva los valores para radionucleidos de origen natural y el enfoque sobre exención deriva los valores para radionucleidos de origen artificial. Los valores de concentración de actividad de los radionucleidos de origen natural son:

- a) Para el radionucleido potasio cuarenta ( $^{40}\text{K}$ ) la concentración de actividad en bequerelio por gramo (Bq/g) es de 10.

- b) Para el resto de radionucleidos la concentración de actividad en bequerelio por gramo (Bq/g) es de 1.

Las materias primas requeridas para la proceso de elaboración de cerámica sanitaria pueden tener concentraciones de radionucleidos de origen natural, y pueden generar productos o desechos que tengan concentraciones más altas (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007, pp. 8 – 11).

Si la concentración total de actividad de los radionucleidos es elevada y se acerca al límite máximo (1000 Bq/kg), es necesario calcular el índice de radiación externa gamma debido a que el producto será utilizado para ambientes donde las personas estarán en contacto directo.

Para calcular el índice de radiación externa gamma se utilizó la siguiente formula:

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Bi}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

$H_{ex}$  = índice de radiación externa gamma

$C_{Ra}$  = concentración de radio 226

$C_{Th}$  = concentración de bismuto 214

$C_k$  = concentración de potasio 40

Las unidades del índice de radiación externa gamma se dan en mSv/y.

### 2.1.2 Caracterización química del lodo

La caracterización química se la desarrolló tomando en cuenta los antecedentes de la empresa EDESA S.A.; el lodo industrial, proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas del proceso de fabricación de sanitarios, fue catalogado por la Secretaria de Ambiente como

un desecho industrial no peligroso debido a la baja concentración de sus contaminantes.

En base a la NORMA TÉCNICA DE RESIDUOS PELIGROSOS (industriales y domésticos) de la RESOLUCIÓN N° 002, un residuo peligroso es gestionado de acuerdo a la clasificación a través de su descripción cualitativa. Para que un desecho sea considerado como no peligroso deberá ser analizado bajo los seis criterios de peligrosidad como son: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad; además de cumplir con las concentraciones máximas por contaminantes determinadas (Resolución 0002-Norma técnica, 2008, pp. 37- 51).

El anexo 2 muestra un resumen de los monitoreos de lodos industriales realizados, de la empresa Edesa S.A., desde el año 2006 hasta el año 2012, donde se puede evidenciar las bajas concentraciones de sus contaminantes.

La caracterización química se la llevó a cabo mediante la prestación de servicios del Laboratorio Anncy, laboratorio ambiental acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE). El ensayo se lo realizó por el método de extracción de lixiviados EPA 1311. El anexo 3 contiene el informe generado por el laboratorio Anncy del análisis anteriormente descrito.

## **2.2 Materiales a utilizar en la mezcla de lodo**

El lodo industrial, proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas del proceso de fabricación de sanitarios, se lo puede considerar como un material inerte no peligroso.

A partir de su caracterización y manipulación, el lodo es un material inerte que carece de cuerpo propio, es decir que al mantener un porcentaje mínimo de agua se endurece pero su resistencia es muy baja, el material se disgrega fácilmente y al humedecerlo vuelve a tener la consistencia de lodo. Es por eso que una de las partes importantes de este proyecto de investigación es buscar

la manera de darle un cuerpo sólido al lodo (de buena resistencia mecánica) para así continuar con el desarrollo del objetivo general.

Los materiales a utilizar en la posible mezcla del lodo que conformará los tableros aislantes de ruido son:

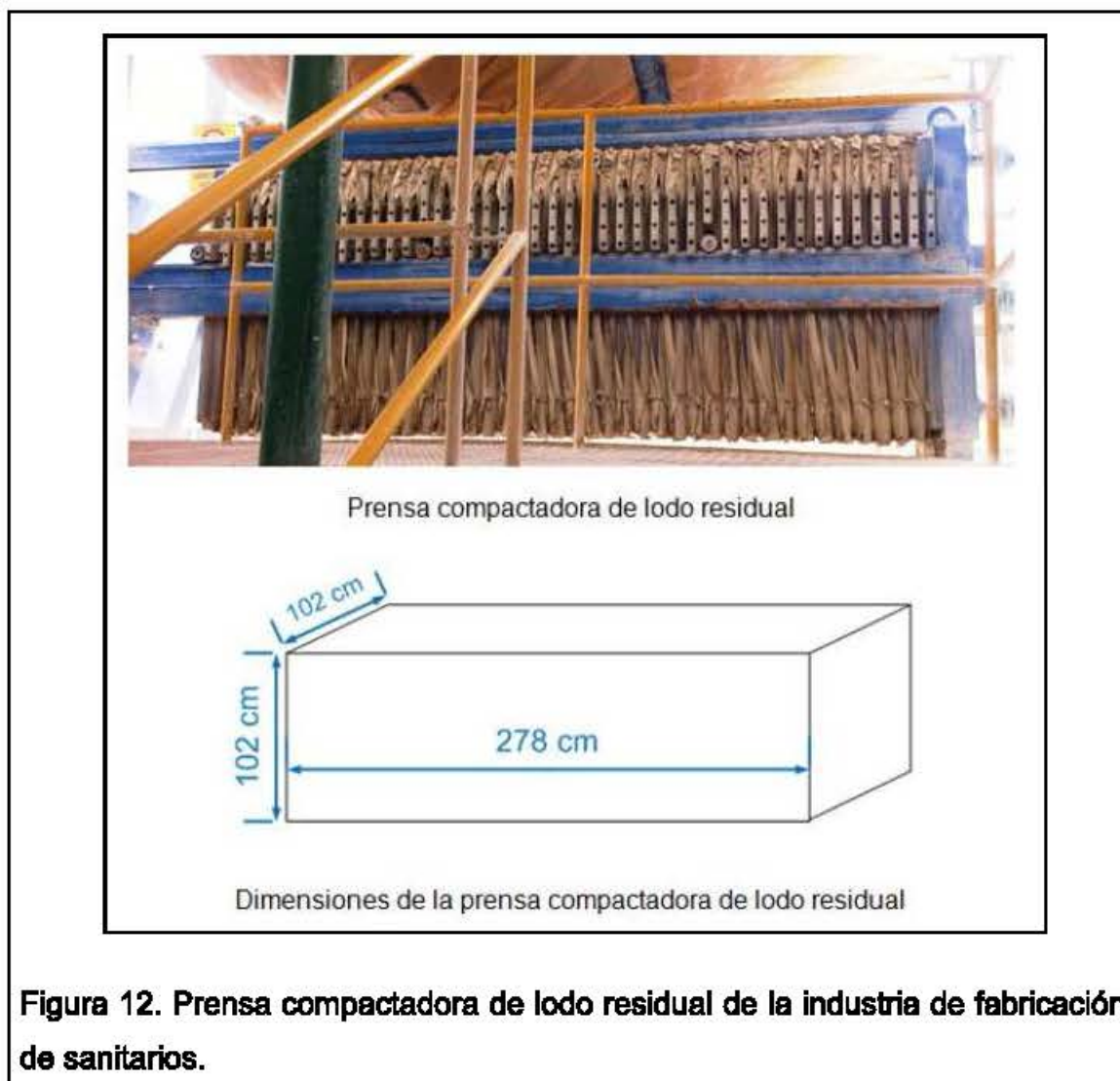
- Lodo residual
- Cemento
- Agregado grueso (rotura cerámica)
- Agregado fino (arena)
- Material absorbente de ruido

### **2.2.1 Lodo residual**

El lodo residual industrial a ser utilizado en el presente proyecto de investigación, es un material de desecho de la industria de la fabricación de sanitarios generado a partir del tratamiento físico químico de las aguas residuales de proceso de la industria.

El agua residual de proceso es recolectada y llevada mediante canalización a la cisterna de la planta de tratamiento de aguas industriales, donde es homogeneizada mecánicamente para pasar al tanque sedimentador mediante el uso de bombas; en el tanque sedimentador se agregan químicos floculantes y coagulantes que hacen que se formen agregados de materia prima presente en el agua (lodo residual), permitiendo así que los agregados sedimenten por diferencia de densidad y gravedad hacia el fondo del tanque donde son recolectados y trasladados, a través de bombas, hacia una prensa hidráulica donde por compactación se los deshidrata obteniendo lodo residual.

En la figura 12 se muestra la prensa compactadora del lodo residual y sus dimensiones, datos necesarios para determinar el volumen diario aproximado de lodo residual generado por la industria.



**Figura 12. Prensa compactadora de lodo residual de la industria de fabricación de sanitarios.**

La prensa cuenta con cuarenta y tres secciones de madera cubiertas con una tela específica (filtro), su función es retener los agregados de materia prima, formados en el tanque sedimentador, y dejar pasar a través de la tela el exceso de agua que contiene. Resultado del proceso de compactación se obtiene el lodo residual a manera de placas, cuarenta y dos placas de cuatro centímetros de espesor por descarga de la prensa compactadora. El personal encargado descarga la prensa compactadora cuatro veces por día.

A partir de las dimensiones de la prensa (102 cm x 102 cm), el espesor de cada placa, y el número de placas de lodo residual; se puede obtener el volumen diario aproximado de lodo residual, generado por la empresa EDESA S.A., que es 3,77 m<sup>3</sup>/día.



En la actualidad, la empresa EDESA S.A. almacena sus lodos residuales en un área específica denominada fosa de lodos, para luego disponer en cajas metálicas de aproximadamente treinta metros cúbicos y ser finalmente transportados, de acuerdo a la frecuencia del servicio de recolección de residuos industriales por parte de EMASEO, a su sitio de disposición final (relleno sanitario operativo) determinado por el Distrito Metropolitano de Quito.

### **2.2.2 Cemento**

El cemento es un material aglomerante que puede mezclarse con líquidos como el agua para formar una pasta. Inicialmente la pasta formada resulta ser plástica, de tal modo que se la puede moldear, y puede tener agregados; y luego de pocas horas se endurece o fragua, generando una masa compacta.

Existen cinco tipos de cemento cuyas propiedades han sido normalizadas y estandarizadas en base a las normas para el cemento Portland (C150); se distinguen por los requisitos químicos y físicos.

El tipo uno es considerado para usos generales y se emplea para fines estructurales; el tipo dos es cemento modificado para usos generales y se emplea para estructuras que tendrán una exposición moderada a sulfatos o cuando se requiere un calor moderado de hidratación; el tipo tres es cemento de alta resistencia inicial y se lo emplea en estructuras donde se requiere una resistencia temprana durante una situación particular; el tipo cuatro es cemento de bajo calor de hidratación y se emplea para estructuras de volúmenes grandes; y el tipo cinco es cemento resistente al sulfato y se emplea en estructuras que tendrán exposición intensa a sulfatos, aguas con alto contenido de álcalis, o aguas del mar (Merritt, 1984, pp. 5-1 – 5-8).

Para el presente proyecto de investigación se utilizará cemento tipo uno, para la estructuración y consistencia resistente de los tableros aislantes de ruido.

### **2.2.3 Agregado grueso (rotura cerámica)**

Es importante mencionar que teóricamente los agregados ocupan un 75% del volumen de la mezcla que se realiza para la producción del concreto. La idea para la elaboración de tableros aislantes de ruido de este proyecto de investigación se basa en la producción de concreto; es por esta razón que dentro del diseño experimental se consideran agregados finos y gruesos como variables para el cumplimiento del objetivo.

En cuanto a granulometría, un agregado se considera grueso al separarlos en tamices de 6, 3, 1 1/2, 3/4, y 3/8 de pulgada y No. 4. El agregado grueso le da al material características de blindaje y estructura (Comisión Federal de Electricidad, 2001, pp. 109 – 113).

El agregado grueso que se definió para el presente trabajo de titulación es la rotura cerámica. La rotura cerámica, al igual que el lodo residual, es un residuo generado del proceso de fabricación de sanitarios; toda pieza cerámica que no cumple con estándares de calidad y que ya no ha podido ser foto curada, se convierte en un desecho de la industria.

El foto curado es una actividad realizada para la recuperación de piezas de cerámica, se la realiza en las piezas que contienen fallas corregibles, tales como diferencia de color o pequeñas fisuras. Consiste en pulir el área afectada de la pieza cerámica para luego rellenar la afectación con pasta cerámica, más resinas que permiten que la nueva pasta se adhiera a la pieza ya vitrificada gracias al uso de luz halógena, y añadir esmalte del color original de la pieza; las piezas foto curadas vuelven al proceso productivo, reduciendo el impacto ambiental negativo por parte de la empresa EDESA S.A. (EDESA S.A., 2011, pp. 63-65).

La rotura cerámica se la puede obtener de cualquier diámetro debido al proceso de trituración; para el presente proyecto de investigación se utilizará rotura cerámica con un diámetro aproximado de 5 milímetros.

#### **2.2.4 Agregado fino (arena)**

Un agregado se considera fino, respecto al tamaño de las partículas, cuando se determina por separación con una serie de tamices normales de No. 4, 8, 16, 30, 50, 100. El agregado fino aporta al material características como resistencia contra el fuego y propiedades aislantes acústicas y térmicas (Comisión Federal de Electricidad, 2001, pp. 113 – 118).

El agregado fino que se definió para el presente proyecto de investigación es la arena, que se encuentra disponible en el mercado.

#### **2.2.5 Material absorbente de ruido**

Si bien es cierto, en ingeniería acústica el término aislamiento acústico difiere en su totalidad del término absorción acústica, según lo descrito en el capítulo uno del presente documento; la idea de añadir material absorbente de ruido en la mezcla que conformará los tableros aislantes de ruido es con el fin de ayudar a disminuir la intensidad de las ondas de sonido, que no pudieron ser reflejadas y que pasan a través del material, mediante una absorción acústica interna.

Se definieron tres tipos de materiales a utilizar en la elaboración de tableros aislantes de ruido a partir del uso de lodo residual. Se los definió en base a su índice de absorción acústica y su valor monetario en el mercado.

**Perlas de poliestireno expandido.-** Son un producto de la expansión primaria de pequeños granos de poliestireno puro, obtenidos bajo condiciones de temperatura y presión controladas. Otorga propiedades de resistencia térmica y eléctrica, de ligereza y flotabilidad, amortiguamiento, y baja absorción de agua (Fanosa, 2010).

**Poliestireno expandido.-** Es un material plástico celular fabricado a partir del moldeo de perlas de poliestireno expandido, presenta una estructura celular cerrada y con aire en su interior. Se caracterizan por ser ligeros y dan resistencia en la construcción y propiedades de aislamiento acústico y térmico (Novaworld, 2010).

**Espuma de poliuretano.-** Es un material sintético, poroso y flexible, de celdas abiertas; su volumen es ocupado casi en su totalidad por aire, mas no por materia sólida. El poliuretano se genera por una reacción química entre dos componentes líquidos (isocianato y polioliol) a temperatura ambiente. La reacción química genera la formación de enlaces consiguiendo dar una estructuración y uniformidad. Se caracterizan por ser aislantes térmicos y tienen un efecto positivo de absorción acústica, y son adherentes a otros materiales de construcción (Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado [ATEPA], 2010, pp. 6 – 44).

### **3. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Dosificación de materiales**

Una vez determinados los materiales a utilizar se procede a realizar las pruebas experimentales necesarias para obtener la cantidad específica a utilizar, de cada material, en la mezcla que conformará los tableros aislantes de ruido.

Inicialmente, para dar cuerpo al lodo residual industrial, es importante determinar la relación de agua, cemento, lodo residual y rotura cerámica a utilizar; para lo cual se inició con la elaboración de un molde de madera para la elaboración de diez probetas consistentes, de 300 centímetros cúbicos aproximadamente, cuyo ancho y alto no sobrepase el área del marco de carga del probador de fuerza de flexión.



Figura 13. Probeta sobre los soportes y marco de carga del probador de fuerza de flexión

Se elaboraron diez probetas con diferentes dosificaciones de materiales. Los porcentajes de materiales para la mezcla de cada probeta se muestran en la tabla 6.

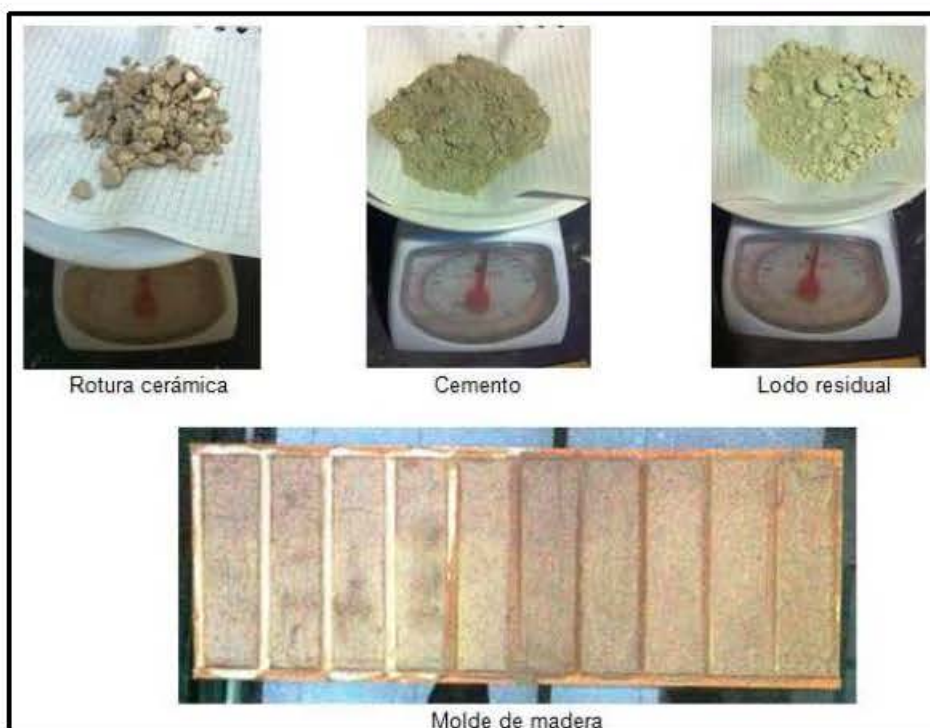


Figura 14. Elaboración de probetas, relación agua, cemento, lodo residual y rotura cerámica

Se desmoldaron las probetas luego de siete días para determinar la resistencia mecánica (o módulo de ruptura, MR) de cada una. El equipo utilizado fue un probador de fuerza de flexión, serie 401; equipo utilizado en el laboratorio de la compañía Edesa S.A.

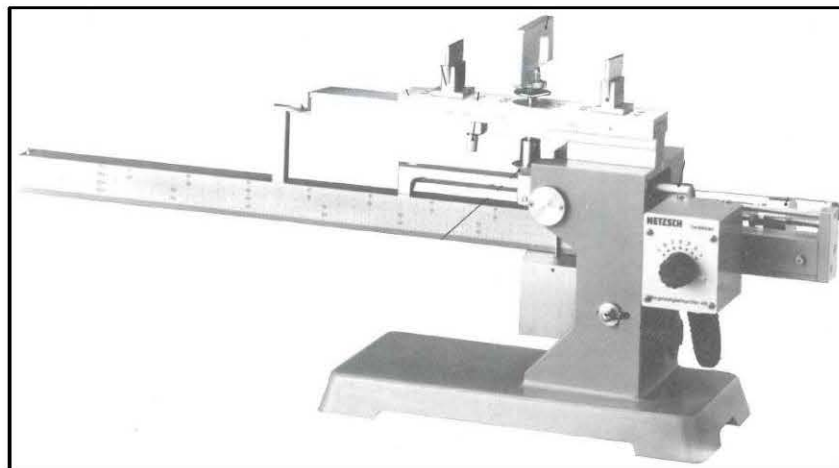


Figura 15. Probador de fuerza de flexión

Tomado de Netzsch Gerätebau, 1988, p.6

Tabla 6. Porcentajes utilizados de cada material para cada probeta elaborada.

<b>PROBETA</b>	<b>% CEMENTO</b>	<b>% LODO RESIDUAL</b>	<b>% AGUA</b>	<b>% ROTURA CERÁMICA</b>
<b>1</b>	0,30	0,30	0,24	0,15
<b>2</b>	0,27	0,33	0,24	0,15
<b>3</b>	0,24	0,36	0,24	0,15
<b>4</b>	0,21	0,39	0,24	0,15
<b>5</b>	0,18	0,42	0,24	0,15
<b>6</b>	0,37	0,37	0,27	0,00
<b>7</b>	0,33	0,40	0,27	0,00
<b>8</b>	0,29	0,44	0,27	0,00

9	0,26	0,48	0,27	0,00
10	0,22	0,51	0,27	0,00

Para calcular el módulo de ruptura de cada probeta se utilizó la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{F \cdot L}{4W} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

MR = módulo de ruptura

F = fuerza de ruptura o carga

L = ancho entre los soportes del equipo

W = momento de resistencia (Netsch, 1988, p. 10)

El momento de resistencia W equivale a:

$$W = \frac{h^2 \cdot b}{6} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

W = momento de resistencia

h = alto de la probeta al momento de la ruptura

b = ancho de la probeta al momento de la ruptura (Netsch, 1988, p. 11)

Una vez registrados los datos obtenidos en el laboratorio durante el análisis de cada probeta, se realizan los cálculos para la obtención de sus resistencias mecánicas, mediante el uso de las fórmulas anteriormente detalladas.

Para medir L, h, y b se utilizó un calibrador vernier.



Figura 16. Obtención de datos para cálculo de resistencia mecánica

La fuerza de rotura ( $F$ ) tiene relación directa con la carga aplicada y con el coeficiente de corrección que relaciona la distancia entre los apoyos y la anchura de la probeta; su resultado es función del grosor de la probeta y del tipo de material. El módulo de ruptura que se deduce a partir de las fórmulas anteriormente descritas, nos aproxima a la resistencia mecánica de la probeta independientemente del grosor de la misma (Institut de Promoció Ceràmica, 2010,p.1).

Tabla 7. Valores obtenidos en el análisis de laboratorio para cálculo de la resistencia mecánica de cada probeta.

PROBETA	L (mm)	F (N)	h (mm)	b (mm)	W (mm <sup>3</sup> )
1	50,0	167,0	16,4	52,5	2339,1
2	50,0	142,0	19,4	48,6	3048,5
3	50,0	80,0	18,6	49,1	2815,9



<b>4</b>	50,0	71,0	16,4	47,5	2121,8
<b>5</b>	50,0	40,0	15,1	49,4	1864,9
<b>6</b>	50,0	411,0	19,4	49,0	3073,6
<b>7</b>	50,0	331,0	19,0	47,1	2830,8
<b>8</b>	50,0	260,0	19,2	47,7	2912,4
<b>9</b>	50,0	225,0	19,1	49,2	2991,4
<b>10</b>	-	-	-	-	-

A partir del análisis de las diez probetas, se tomó el porcentaje de materiales que soporto mayor fuerza, es decir el porcentaje de materiales de la probeta N°6, para seguir con el siguiente análisis.

En segundo lugar se elaboraron treinta y dos probetas para analizar la relación entre arena fina y rotura cerámica a utilizar en la mezcla que conformará los tableros aislantes de ruido. Las treinta y dos probetas fueron elaboradas para obtener la dosificación de materiales que genere un cuerpo con buena resistencia mecánica, a partir del lodo industrial residual, y también para analizar su comportamiento en el tiempo.

Se elaboró un molde de madera con treinta y dos compartimientos, cada uno de 300 centímetros cúbicos aproximadamente; se prepararon cuatro mezclas independientes con distintas dosificaciones de arena fina y rotura cerámica, cuyos porcentajes se muestran en la tabla 8. Para cada mezcla se pesaron los materiales, se registraron los datos, se homogeneizo la mezcla, y se dispuso cada una en el molde con el fin de obtener ocho réplicas de cada mezcla.



**Figura 17. Elaboración de probetas, relación arena fina y rotura cerámica**

Para las cuatro mezclas que se elaboraron se mantuvo un porcentaje constante de lodo residual y agua, en base a la probeta N°6 del primer análisis. Tomando en cuenta la elaboración de concreto, el material que varío en su porcentaje de composición fue el cemento, debido a la implementación de agregado fino (arena fina) y grueso (rotura cerámica) para el análisis. La cuarta mezcla está conformada con los mismos porcentajes de la probeta inicial (probeta N°6) con la que se partió la idea del segundo análisis.

Tabla 8. Porcentajes utilizados de cada material para la composición de las mezclas elaboradas.

<b>MEZCLA</b>	<b>% LODO RESIDUAL</b>	<b>% CEMENTO</b>	<b>% ROTURA CERÁMICA</b>	<b>% ARENA FINA</b>	<b>% AGUA</b>
<b>M1</b>	0,37	0,08	0,14	0,14	0,27
<b>M2</b>	0,37	0,08	0,07	0,21	0,27
<b>M3</b>	0,37	0,08	0,21	0,07	0,27
<b>M4</b>	0,37	0,37	0,00	0,00	0,27

Los análisis de la resistencia mecánica de las probetas fueron realizadas a cuatro distintas edades, 7 días – 14 días – 21 días – 28 días. Luego de los 7 días de la elaboración de cada probeta, se las desmoldó y se las sumergió en agua hasta su análisis, para obtener un curado y condiciones de humedad necesarias para la prueba.

Para la obtención de la resistencia mecánica de cada probeta a distintas edades, se utilizó el mismo equipo y las mismas fórmulas anteriormente descritas. Se analizaron dos probetas de cada mezcla elaborada para poder comparar datos. Durante el análisis en laboratorio se registraron los datos necesarios ( $F - L - h - b - W$ ) para proceder a calcular el módulo de ruptura de cada probeta; en la tabla 9 se describen los datos obtenidos durante el análisis y la edad a la que fueron analizadas.

Tabla 9. Valores obtenidos en el análisis de laboratorio para cálculo de la resistencia mecánica de cada probeta.

<b>PROBETA</b>	<b>L (mm)</b>	<b>F (N)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>W (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>EDAD</b>
<b>1M1</b>	100,0	37,0	18,4	49,1	2770,5	7 días
<b>2M1</b>	100,0	43,0	18,4	50,0	2821,3	7 días
<b>3M1</b>	100,0	35,0	20,0	49,2	3280,0	14 días

<b>4M1</b>	100,0	45,0	20,0	50,3	3353,3	14 días
<b>5M1</b>	100,0	55,0	20,5	50,3	3523,1	21 días
<b>6M1</b>	100,0	60,0	20,5	50,2	3516,1	21 días
<b>7M1</b>	100,0	75,0	20,7	50,3	3592,2	28 días
<b>8M1</b>	-	-	-	-	-	28 días
<b>1M2</b>	100,0	44,0	18,4	49,5	2793,1	7 días
<b>2M2</b>	100,0	45,0	18,3	48,9	2729,4	7 días
<b>3M2</b>	100,0	48,0	20,0	48,1	3206,7	14 días
<b>4M2</b>	100,0	47,0	20,0	50,3	3353,3	14 días
<b>5M2</b>	100,0	61,0	20,3	49,4	3392,9	21 días
<b>6M2</b>	100,0	35,0	19,4	49,8	3123,8	21 días
<b>7M2</b>	100,0	55,0	18,0	51,8	2797,2	28 días
<b>8M2</b>	100,0	65,0	18,0	51,0	2754,0	28 días
<b>1M3</b>	100,0	27,0	17,6	49,1	2534,9	7 días
<b>2M3</b>	100,0	30,0	19,4	49,4	3098,7	7 días
<b>3M3</b>	100,0	75,0	20,4	49,0	3398,6	14 días
<b>4M3</b>	100,0	60,0	21,0	49,0	3601,5	14 días
<b>5M3</b>	100,0	70,0	21,4	48,6	3709,5	21 días
<b>6M3</b>	100,0	75,0	21,0	49,4	3630,9	21 días
<b>7M3</b>	100,0	60,0	21,0	49,7	3653,0	28 días
<b>8M3</b>	100,0	80,0	20,8	53,3	3843,3	28 días
<b>1M4</b>	100,0	180,0	20,5	48,3	3383,0	7 días
<b>2M4</b>	100,0	170,0	20,1	50,0	3366,8	7 días
<b>3M4</b>	100,0	285,0	20,7	50,9	3635,0	14 días
<b>4M4</b>	100,0	283,0	20,7	50,0	3570,8	14 días
<b>5M4</b>	130,0	230,0	20,0	50,7	3380,0	21 días
<b>6M4</b>	130,0	210,0	20,4	48,7	3377,8	21 días
<b>7M4</b>	130,0	300,0	21,0	49,0	3601,5	28 días
<b>8M4</b>	-	-	-	-	-	28 días

### 3.2 Diseño y elaboración de tableros aislantes de ruido

Por lo que se refiere al diseño de la forma de los tableros aislantes de ruido, se los realizó en base a la elaboración de cerámica plana; se construyeron tableros de 30x30 cm y de un espesor de 2 cm. La superficie de cada tablero es plana.

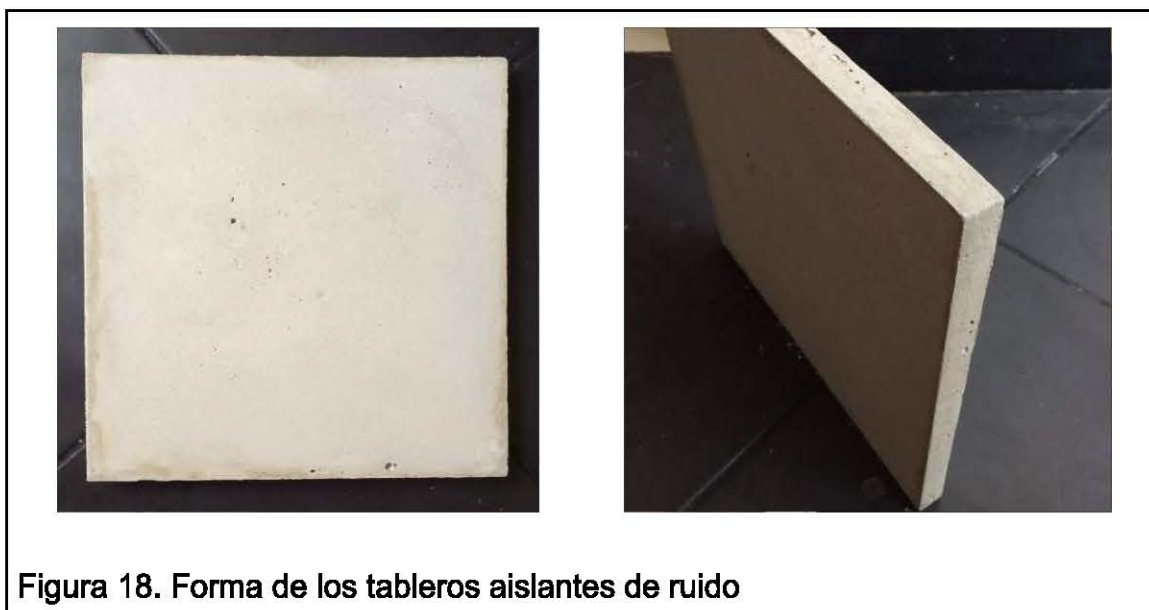


Figura 18. Forma de los tableros aislantes de ruido

En un inicio, para la elaboración de los tableros aislantes de ruido, se realizaron los moldes de madera con el fin de obtener los tableros de 30x30 cm. Se preparó la mezcla con la dosificación de materiales determinados a partir del diseño experimental y se procedió a poner en los moldes previamente empapados de desmoldante.

Se elaboraron cuatro tipos de tableros, sus variantes fueron el material absorbente, para examinar la eficiencia de cada tablero y su peso; unos fueron elaborados con retazos de espuma de poliuretano (esponja), otros con perlas de poliestireno expandido, otros con una plancha de poliestireno expandido de 0.5 cm, y otros sin ningún material absorbente como se muestra en la figura 20.



Figura 19. Elaboración de tableros aislantes de ruido

Una vez elaborados los tableros se esperó 28 días para desmoldarlos y poder realizar los análisis de eficiencia de aislamiento acústico; a cada tablero se lo hidrató 3 veces al día para evitar fisuras.

### 3.3 Medición de aislamiento acústico

En el primer capítulo se describen brevemente los métodos, requisitos, procedimientos y fórmulas que se deben tomar en cuenta y desarrollar para estimar el aislamiento acústico de un recinto o un material utilizado en el recinto.

Para el presente proyecto de investigación, no se pudieron efectuar los procedimientos para realizar mediciones en laboratorio o in situ debido las especificaciones y requisitos a cumplir; en nuestro país no existe un laboratorio especializado para realizar las mediciones de aislamiento acústico.

Sin embargo se utilizó un modelo matemático elaborado por Guillermo Bolaños, profesor de la facultad de ingeniería y ciencias agropecuarias de la “Universidad de las Américas”; modelación matemática elaborada en base a la norma española UNE-EN 12354.

Para poder realizar la modelación se necesitó obtener datos específicos de cada tablero como: densidad volumétrica, espesor, densidad superficial, coeficiente de amortiguamiento, coeficiente de rotura, entre otros. Estos datos fueron ingresados en una matriz en Excel y se generaron los informes correspondientes para cada tablero elaborado.

## **4. RESULTADOS**

En el presente capítulo se describen todos los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación; resultados de la caracterización físico-química, diseño experimental para dosificación de materiales y estimación de aislamiento acústico del material elaborado.

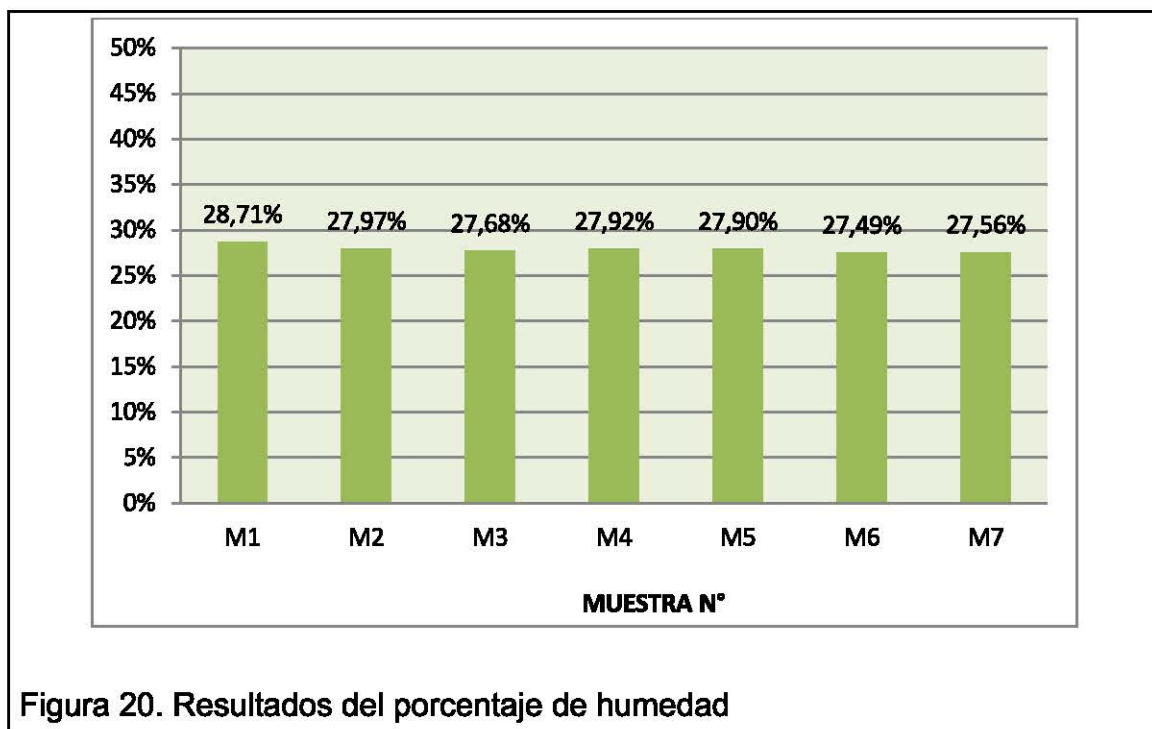
### **4.1 Caracterización del lodo residual industrial**

#### **4.1.1 Caracterización física del lodo**

En el segundo capítulo se describieron los pasos llevados a cabo para el cálculo de parámetros físicos tales como humedad, sólidos totales, temperatura, potencial hidrógeno, conductividad eléctrica, textura y radiación gamma. A continuación se detallan los resultados obtenidos de cada análisis efectuado a la muestra de lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la elaboración de sanitarios.

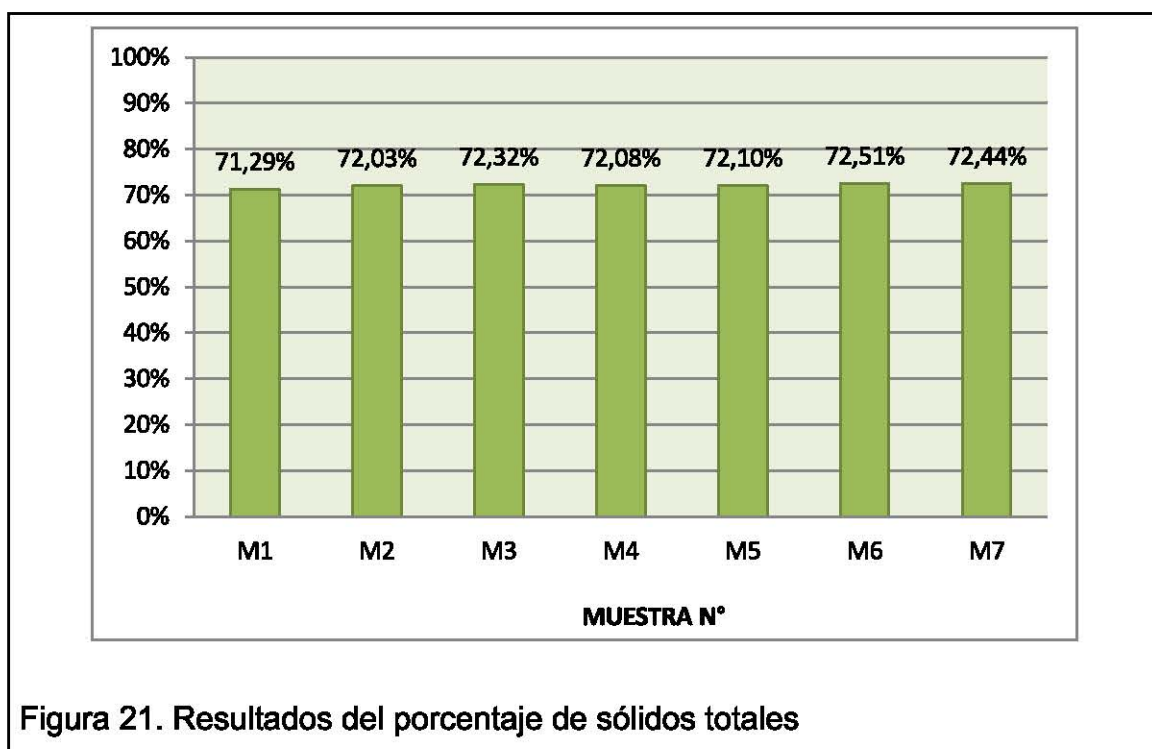
##### **4.1.1.1 Humedad**

Mediante el uso de la fórmula descrita en el segundo capítulo, se calcularon los porcentajes de agua (humedad) de las siete muestras analizadas, resultados que se señalan en la figura 21.



#### 4.1.1.2 Sólidos totales

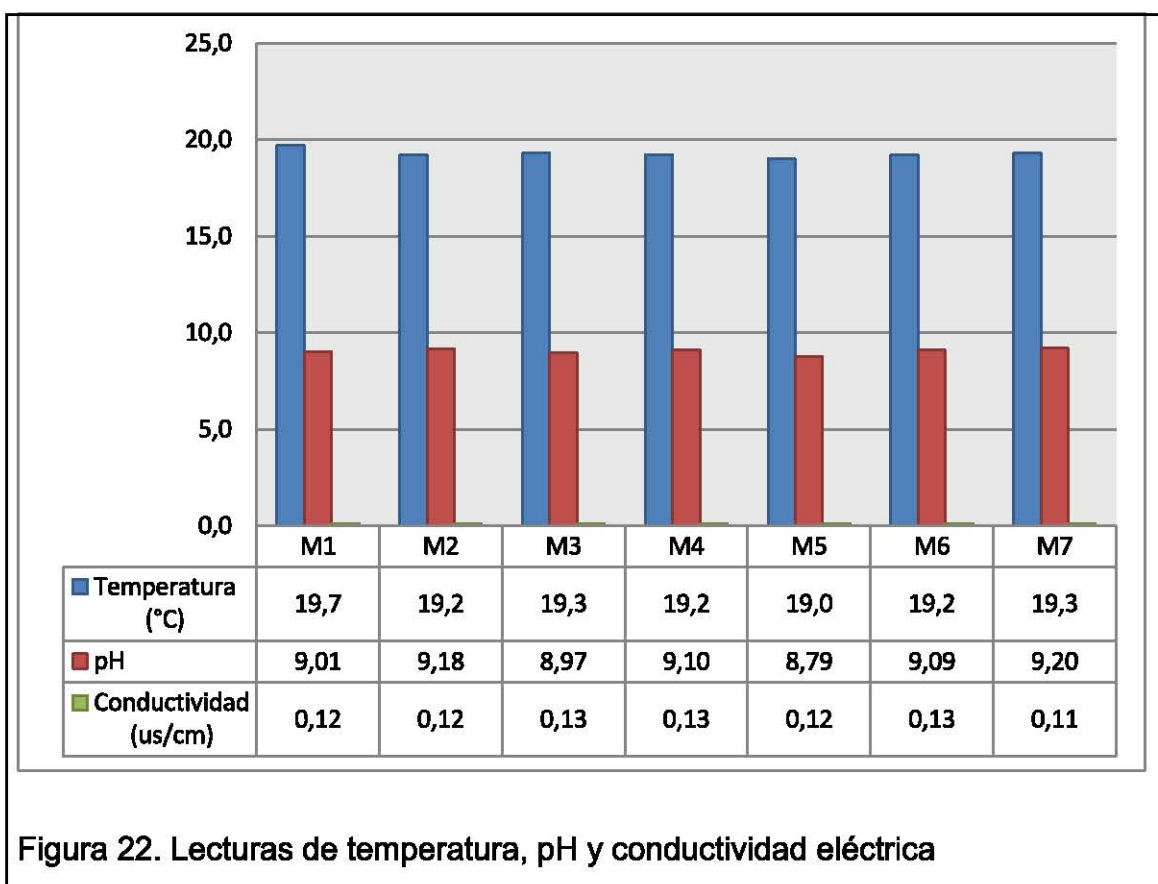
Mediante el uso de la fórmula descrita en el segundo capítulo, se calcularon los porcentajes de sólidos totales de las siete muestras analizadas, resultados que se señalan en la figura 22.





#### 4.1.1.3 Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica

Los parámetros de temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica se midieron con el conductivímetro y el pH-metro, las lecturas de cada muestra se señalan en la figura 23.



#### 4.1.1.4 Textura

Mediante el uso de las fórmulas descritas en el segundo capítulo, se calcularon los porcentajes de arena, arcilla y limo de las siete muestras analizadas, resultados que se señalan en la figura 24.

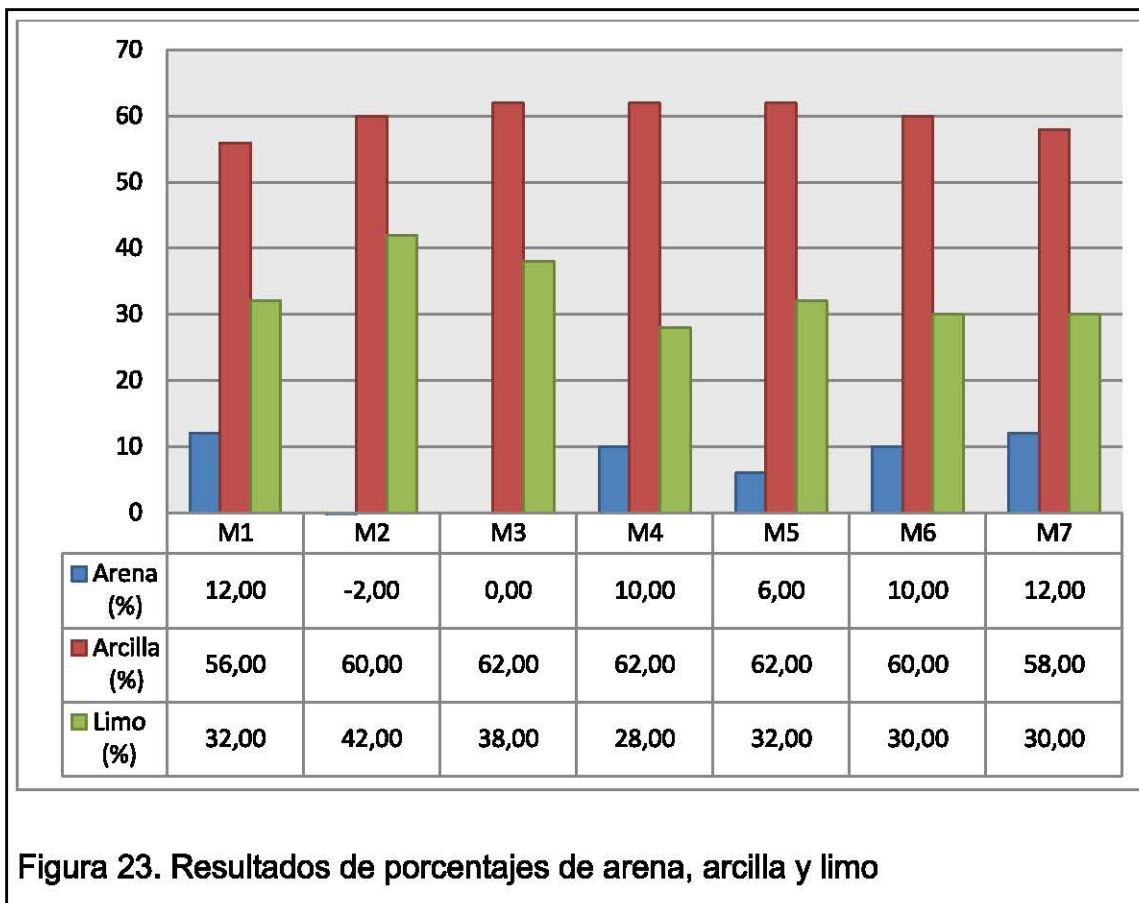
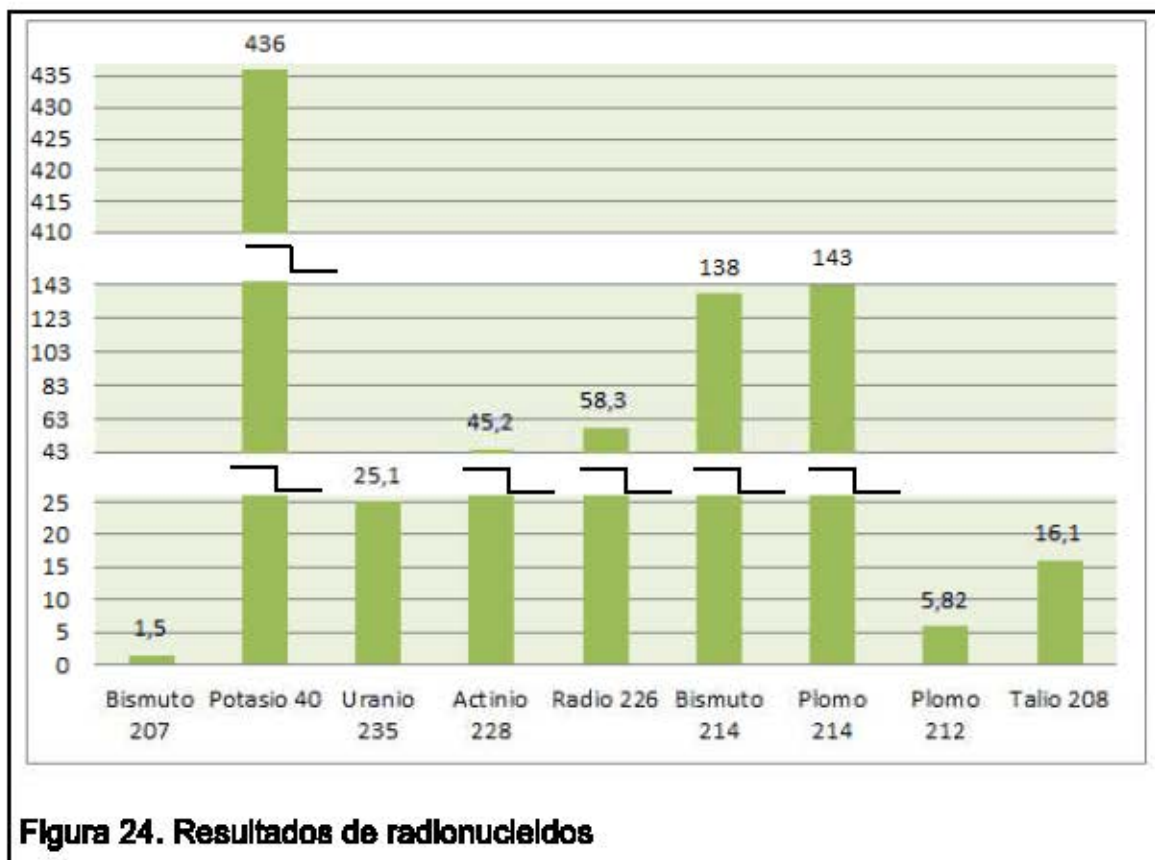


Figura 23. Resultados de porcentajes de arena, arcilla y limo

#### 4.1.1.5 Radiación gamma

En la figura 25 se señalan los resultados de concentración de actividad de los radionucleidos analizados por la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN).



**Figura 24. Resultados de radionucleidos**

El resultado del Índice de radiación externa gamma que se calculó, mediante el uso de la fórmula descrita en el segundo capítulo, fue de 0,78 mS/y.

#### **4.1.2 Caracterización química del lodo**

En la figura 26 se señalan los resultados de los seis parámetros químicos analizados por la prestación de servicios del Laboratorio Anncy.

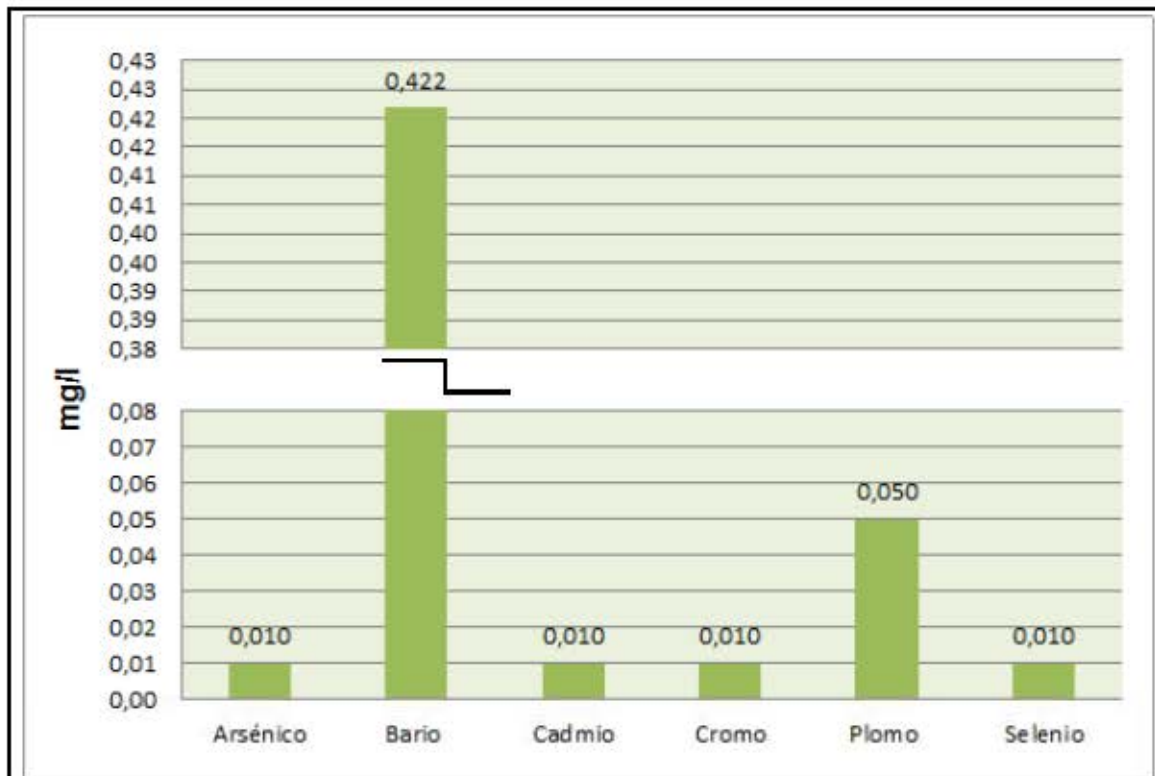


Figura 25. Resultados de parámetros químicos

#### 4.2 Diseño experimental – Dosificación de materiales

En el tercer capítulo se describió el primer diseño experimental llevado a cabo para la determinación de la relación de agua, cemento, lodo residual y rotura cerámica a utilizar para dar cuerpo al lodo residual industrial; del primer análisis de las diez probetas se señalan en la figura 27 los resultados de la resistencia mecánica calculada.

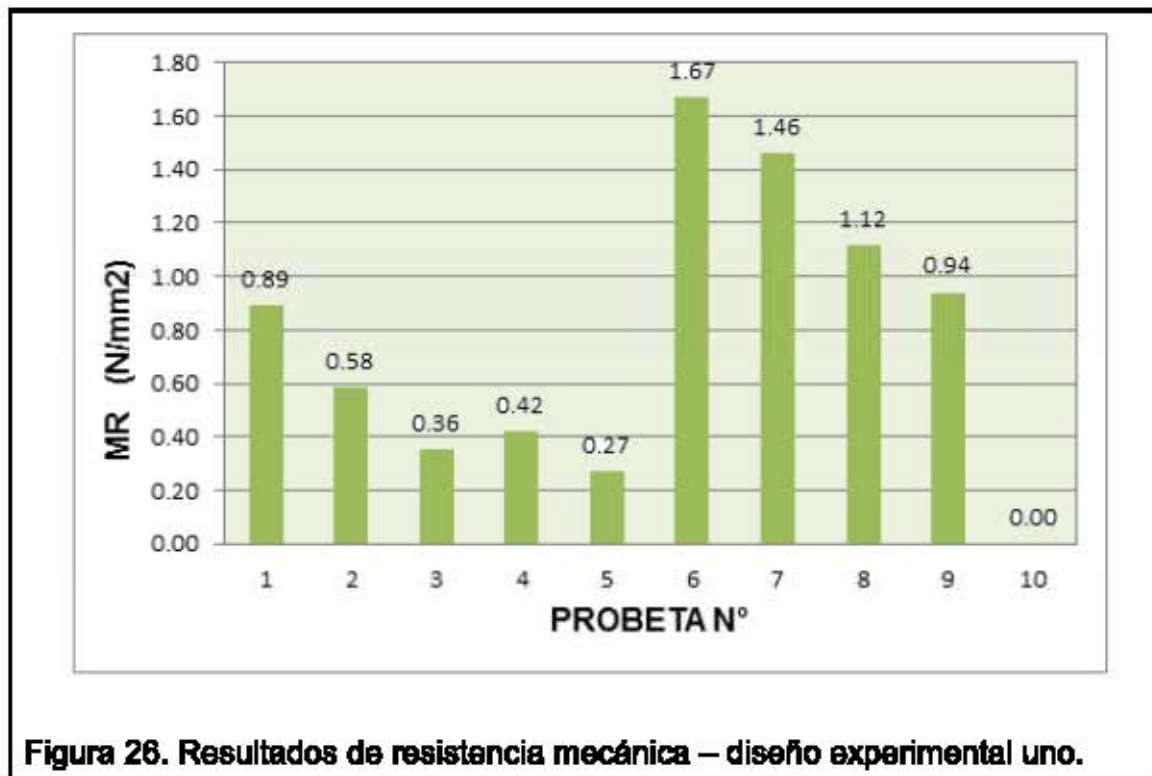
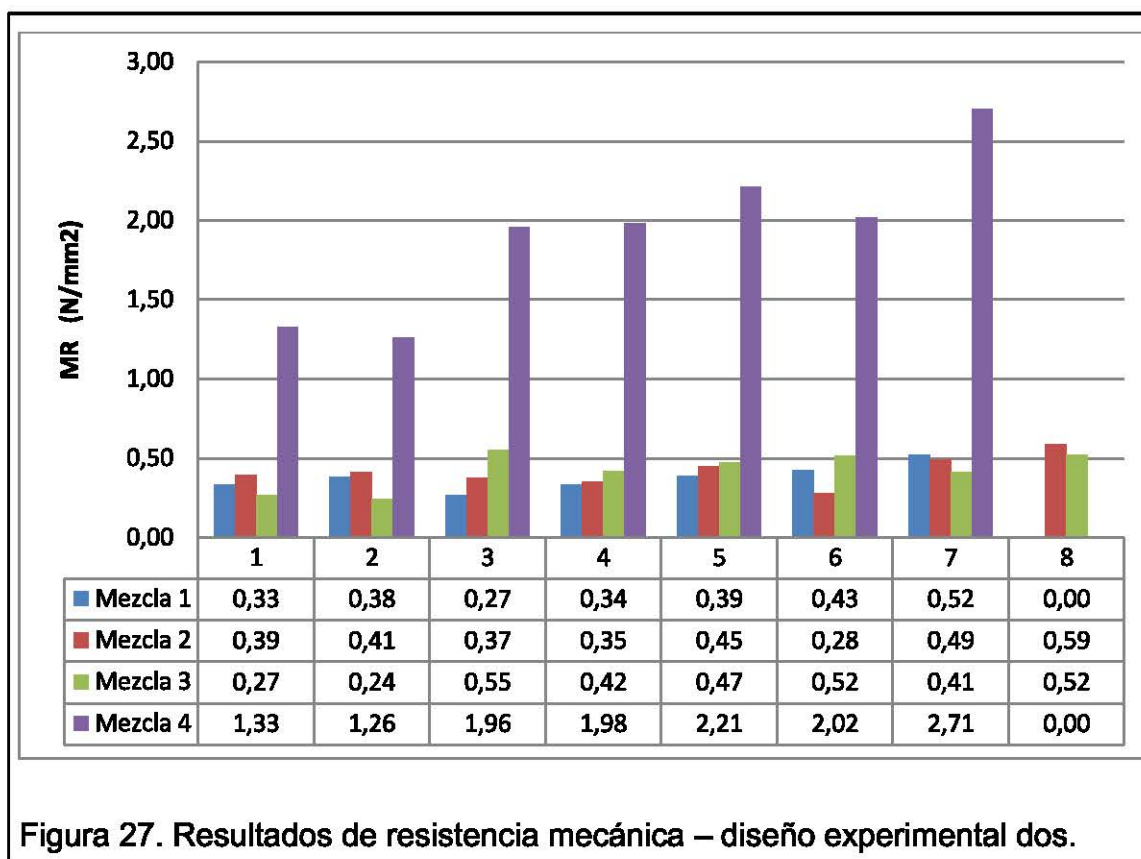


Figura 26. Resultados de resistencia mecánica – diseño experimental uno.

Además, a partir del primer diseño, se describió un segundo diseño experimental llevado a cabo para analizar la relación entre arena fina y rotura cerámica a utilizar en la mezcla que conformará los tableros aislantes de ruido; del segundo análisis de ocho probetas para cada mezcla elaborada, se señalan en la figura 28 los resultados de la resistencia mecánica calculada.



Cabe mencionar que las probetas uno y dos fueron analizadas a los 7 días, tres y cuatro a los 14 días, cinco y seis a los 21 días, y siete y ocho a los 28 días.

### 4.3 Medición de aislamiento acústico

En el tercer capítulo se describió la metodología usada para medir la eficacia de los tableros aislantes de ruido elaborados, a través de un modelo matemático del cual se generaron informes para cada tipo de tablero elaborado, mismos que se encuentran adjuntos en el anexo 4. A continuación en la figura 29 se muestran los resultados de los índices de aislamiento acústico, para un rango de frecuencias, calculados para cada tablero elaborado.

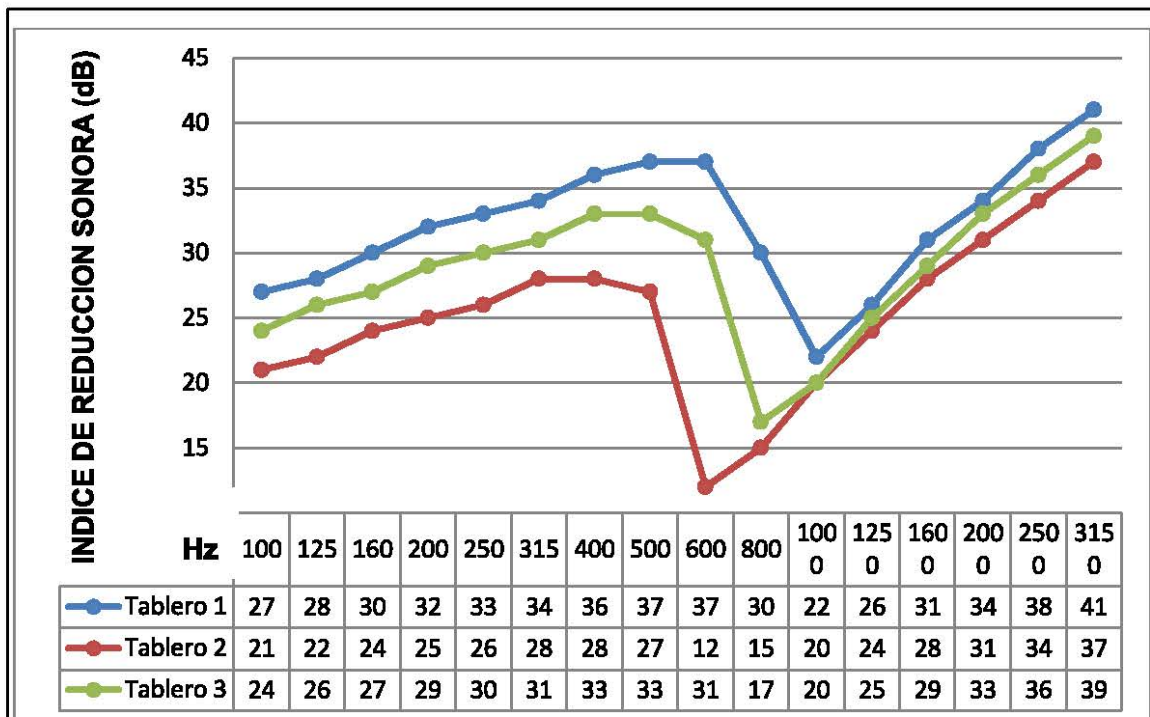


Figura 28. Resultados de índices de aislamiento acústico – rango de frecuencias.

El índice de aislamiento total de cada tablero elaborado se presenta en la figura 30.

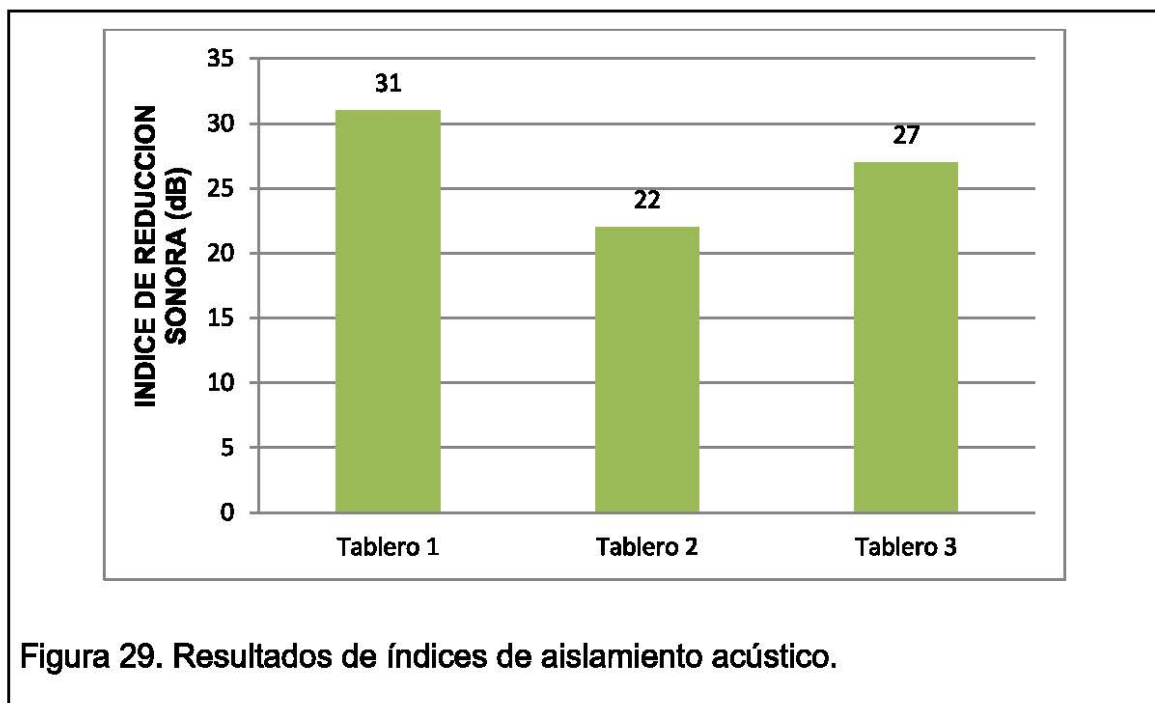


Figura 29. Resultados de índices de aislamiento acústico.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizaron todos los resultados definidos en el capítulo cuarto para la caracterización físico-química, diseño experimental para dosificación de materiales y estimación de aislamiento acústico del material elaborado.

### **5.1 Caracterización del lodo residual industrial**

#### **5.1.1 Caracterización física del lodo**

Se analizaron los resultados obtenidos del análisis de cada parámetro físico, tales como humedad, sólidos totales, temperatura, potencial hidrógeno, conductividad eléctrica, textura y radiación gamma.

##### **5.1.1.1 Humedad**

El lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la elaboración de sanitarios presentó un promedio de contenido de agua del 27,89%.

Partiendo de la definición de lodos residuales, el valor promedio del contenido de agua nos indica que la composición del lodo estudiado, en su mayoría, es de material sólido y no agua.

El parámetro de humedad no es una variable dependiente en el diseño de tableros aislantes de ruido debido a que el lodo residual es deshidratado para poder ser dosificado en la mezcla; sin embargo, es de suma importancia conocer la cantidad de agua que retienen las partículas de lodo residual para la determinación de la relación agua y cemento en la mezcla con el fin de obtener una reacción efectiva de los componentes del cemento.

##### **5.1.1.2 Sólidos totales**

El lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la elaboración de sanitarios presentó un promedio de contenido de sólidos



totales del 72,11%; valor que nos permite evidenciar lo estipulado en el parámetro de humedad.

### **5.1.1.3 Temperatura, potencial hidrógeno y conductividad eléctrica**

El lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la elaboración de sanitarios presentó un promedio de temperatura de 19,3°C lo cual indica que la temperatura del lodo residual depende de la temperatura ambiente.

El parámetro de la temperatura resulta un factor determinante para el incremento de la relación agua cemento en la mezcla. El fenómeno de esta causa es la evaporación; si el lodo residual presentara altas temperaturas la demanda de agua incrementaría causando que el fraguado de la mezcla preparada sea menos resistente debido a la presencia de grietas por la mala hidratación del cemento. Químicamente los componentes del cemento requieren de agua para reaccionar, al incrementar la demanda de agua, el cemento no reaccionará en su totalidad y la fuerza de adherencia entre partículas disminuirá (National Ready Mixed Concrete, 2008).

Por lo tanto, la temperatura del lodo residual resulta ser óptima para la elaboración de tableros aislantes de ruido porque se encuentra en un rango de 15 y 25 °C, rango que no afecta la reacción química de los componentes del cemento por demanda de agua.

El valor promedio de las lecturas del parámetro de potencial hidrógeno (pH) fue de 9; de acuerdo a la transformación logarítmica de la concentración molar de protones ( $H^+$ ) el valor 9 se encuentra a dos niveles del valor neutro (7), un cambio de unidad de pH representa un cambio de diez veces en la concentración de protones, esto quiere decir que el lodo residual contiene cien veces menos protones que un valor neutro y cien veces más hidroxilos, resultando así que el potencial hidrógeno del lodo residual analizado es alcalino (Velázquez y Ordorica, 2009, pp. 5 - 6).

El parámetro de pH no es un factor determinante para la elaboración de tableros aislantes de ruido ya que si se da el fenómeno de la carbonatación del cemento (reducción del pH) por exposición a la humedad y dióxido de carbono, los tableros no contienen estructuras de acero que puedan ser corroídas (revista cemento, 2011).

A partir de lo antes mencionado, se deduce que no es importante el valor de pH que contenga el lodo residual, debido a que en el presente trabajo de investigación, no se requirió hacer uso de una estructura de soporte metálica que pueda ser corroída o destruida al incrementar el valor del potencial hidrógeno.

El valor promedio de las lecturas del parámetro de conductividad eléctrica fue de  $0,12 \mu\text{s}/\text{cm}$ ; partiendo de la definición de conductividad eléctrica y del rango de valores de conductividad eléctrica del agua destilada (en laboratorio tiene una conductividad en el rango de  $0,5$  a  $3 \mu\text{s}/\text{cm}$ ), se analiza que la dilución del lodo residual en agua con baja conductividad tiene poca capacidad para transmitir corriente eléctrica entre sí (UPRM, 2012, pp. 1 – 2). La conductividad eléctrica no es una variable dependiente en el diseño de tableros aislantes de ruido ya que el medio de propagación para la corriente eléctrica es totalmente diferente al medio de propagación del sonido. La conductividad eléctrica requiere un medio de transporte para cargas eléctricas y la propagación del sonido en un material depende de la elasticidad del mismo.

Por lo tanto, el valor de la conductividad eléctrica del lodo residual no afecta en los resultados de aislamiento acústico de los tableros que se elaboraron, debido a que el estudio se enfocó al medio de propagación del sonido y no a la propagación de la electricidad.

#### **5.1.1.4 Textura**

Las siete muestras de lodo residual que se analizaron, presentan un promedio total de 6,86% de arena, 60% de arcilla y 33,14% de limo en su composición. Por lo antes descrito, se evidenció que la composición del lodo residual

máximamente es de material arcilloso, principal materia prima utilizada en la elaboración de sanitarios.

La arcilla es un suelo fino cuyas partículas poseen un diámetro menor a 0,074 mm; dentro de la elaboración del concreto las arcillas son consideradas como agregados finos y su porcentaje en la mezcla es limitado. Por lo tanto, la granulometría del material es un factor determinante en la relación de agua y cemento en la mezcla. Si la humedad de las partículas del material arcilloso es mayor a la de absorción, aporta con agua a la mezcla debido a que las partículas se saturan dejando agua libre necesaria para que el cemento reaccione. Las partículas finas ayudan a la manejabilidad de la mezcla (Rivera, 2006, pp. 52 – 65).

Entonces, se concluye que el lodo residual contiene un 60% de material arcilloso, cuyas partículas al hidratarse se saturaron y aportaron con agua a la mezcla para que los componentes del cemento reaccionen en su totalidad.

#### **5.1.1.5 Radiación gamma**

De acuerdo a la figura 24 que se describió en el capítulo cuarto, los valores de concentración de actividad de los radionucleidos analizados no sobrepasan los valores de 1 bequerelio por gramo (potasio cuarenta) o 10 bequerelios por gramo, establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Por lo expuesto teóricamente en el capítulo uno y en el capítulo de resultados, las concentraciones de actividad de los radionucleidos (radiación gamma) analizados, resultan muy apegadas al límite máximo establecido debido a que el lodo es un residuo de las materias primas de origen natural empleadas para la elaboración de sanitarios; los materiales minerales tienen por naturaleza una concentración considerable de actividad de los radionucleidos.

El índice de radiación externa gamma no sobrepasa el límite de 1 mS/y.

### **5.1.2 Caracterización química del lodo**

De acuerdo a la figura 25, se analizó que el contenido de metales pesados del lodo residual, proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la elaboración de sanitarios, contiene valores muy por debajo de los establecidos en la normativa ambiental vigente; tal como se evidencia en la concentración de metales pesados, del lodo residual, durante el año 2006 al 2012 del anexo 2.

A partir de la caracterización química que se desarrolló en el presente proyecto de investigación, se reafirma que el lodo residual proveniente de la elaboración de sanitarios es un material no peligroso.

## **5.2 Diseño experimental – Dosificación de materiales**

### **5.2.1 Diseño experimental uno**

De acuerdo a la figura 26, de las diez probetas elaboradas para la determinación de la relación de agua, cemento, lodo residual y rotura cerámica que se utilizaron para dar cuerpo al lodo residual industrial, se analizó que la probeta seis tuvo la mayor resistencia mecánica ( $1,67 \text{ N/mm}^2$ ), debido a que es la probeta que menor carga de materiales tiene (agregado fino y grueso), permitiendo que el cemento se hidrate y reaccione efectivamente aumentando la fuerza de adherencia entre las partículas del lodo residual (National Ready Mixed Concrete, 2008); además, a partir del primer diseño experimental se definió el porcentaje de materiales que fueron utilizados como mezcla ideal para la elaboración de tableros aislantes de ruido.

Además se evidenció que, mediante la comparación de resistencias mecánicas calculadas entre las probetas que contienen rotura cerámica (probeta de la 1 a la 5) con las que no tienen (probeta 6 a la 10), que se muestra en la figura 30, la rotura cerámica incluida en la composición del material no generó un cuerpo más resistente debido a que la rotura cerámica como tal tiende a fracturarse

con facilidad al ser expuesta a una fuerza. Solo actúa como carga en el material.

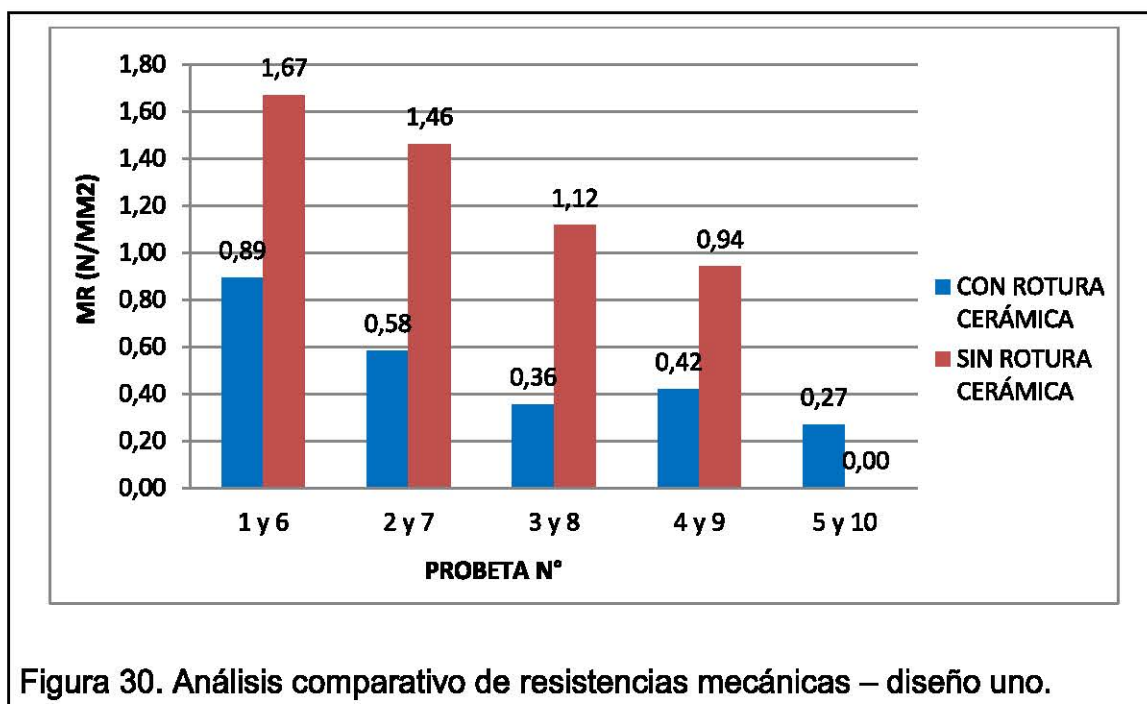


Figura 30. Análisis comparativo de resistencias mecánicas – diseño uno.

## 5.2.2 Diseño experimental dos

De acuerdo a la figura 27, de los resultados de las resistencias mecánicas calculadas a distintas edades, de las ocho probetas para de cada mezcla, se realizó un análisis estadístico a fondo para poder interpretar los datos que se obtuvieron, explicar que ocurre con cada mezcla que se elaboró, y determinar la dosificación de materiales que se utilizó en la mezcla con la que se elaboraron los tableros aislantes de ruido.

### 5.2.2.1 Análisis de varianza de un solo factor: Módulo de ruptura vs. Mezcla

El procedimiento estadístico de análisis de variancia (ANOVA), se utiliza para diferenciar la hipótesis de que si las medias calculadas (resistencia mecánica) en varios grupos (mezcla uno, mezcla dos, mezcla tres y mezcla cuatro) son iguales o diferentes. Es decir que a partir del ANOVA se evidenció que la

variación de materiales en las mezclas elaboradas, generaron resistencias mecánicas diferentes (Tamayo, 2013, p.2).

Tabla 10. Tabla ANOVA.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Probabilidad
Mezcla	3	15,5477	5,1826	64,22	0,000
Error	28	2,2595	0,0807		
Total	31	17,8072			

Desviación Estándar (S) = 0,2841

$R^2 = 87,31\%$

$R^2$  (ajustado) = 85,95%

Para el ANOVA se plantearon las siguientes hipótesis:

- $H_0$  (hipótesis nula): con la variación en la concentración de materiales en las mezclas, no existió diferencia significativa en los valores de las resistencias mecánicas.
- $H_a$  (hipótesis alternativa): con la variación en la concentración de materiales en las mezclas, sí existió diferencia significativa en los valores de las resistencias mecánicas.

Se determinaron las siguientes probabilidades para rechazar o aceptar las hipótesis planteadas.

- Si, la probabilidad (p) es menor al nivel de significancia (0,05), la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

- Si, la probabilidad ( $p$ ) es mayor al nivel de significancia (0,05), la hipótesis nula ( $H_0$ ) se acepta y rechaza se la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

La probabilidad resultante del ANOVA para el análisis del módulo de ruptura o resistencia mecánica es de 0,000. Entonces se acepta que, con la variación en la concentración de materiales en las mezclas, sí existe diferencia significativa en los valores de las resistencias mecánicas.

De las gráficas de residuos obtenidos por el ANOVA, se evidenció que los valores residuales tienden a 0, es decir que no existe variación entre los valores de datos reales y el valor ajustado o pronosticado del modelo analizado. Los valores reales se ajustan a la predicción.

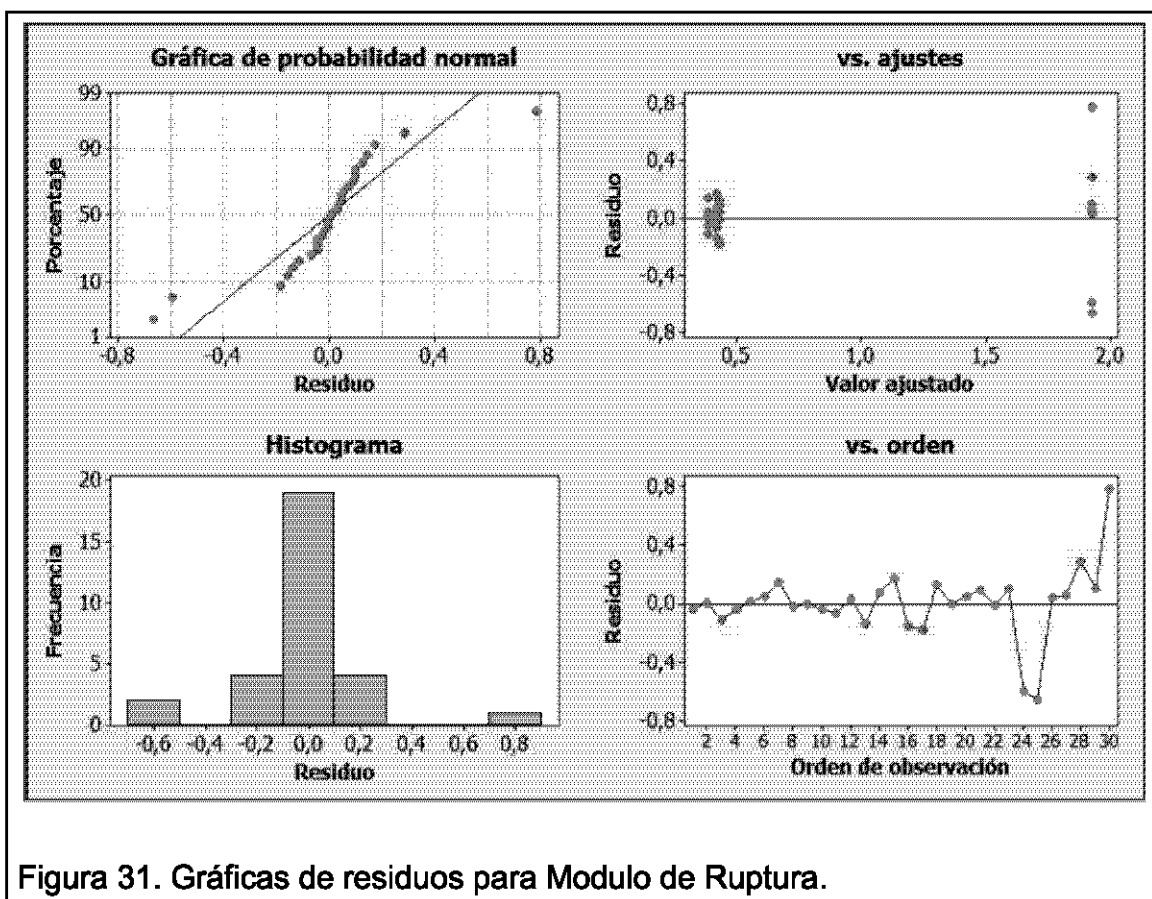


Figura 31. Gráficas de residuos para Modulo de Ruptura.

### 5.2.2.2 Método de Tukey

Luego de haber rechazado  $H_0$ , con la variación en la concentración de materiales en las mezclas, no existió diferencia significativa en los valores de las resistencias mecánicas; se aplicó el método de Tukey para comparar las medias de los niveles (mezcla uno, mezcla dos, mezcla tres y mezcla cuatro) de un factor (módulo de ruptura), con el fin de identificar el nivel diferente significativo del modelo analizado (Pérez, 2013).

Tabla 11. Tabla Método de Tukey.

Mezcla	N	Media	Agrupación
1	8	0,3975	B
2	8	0,4163	B
3	8	0,4250	B
4	8	2,0225	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

A partir del análisis realizado por el Método de Tukey, y según su resultado de agrupación, se evidencia que las medias de la resistencia mecánica de las probetas analizadas para la mezcla uno, dos y tres son significativamente iguales; la mezcla cuatro es significativamente diferente a la mezcla uno, mezcla dos y mezcla tres.

En la figura 33, es notorio ver la diferencia significativa y las semejanzas entre niveles que el método de tukey expone, además de que se incluye en el análisis el factor edad (día en que se realizó el análisis de resistencia mecánica).

Para la mezcla uno dos y tres la resistencia mecánica no tiene un aumento considerable de las resistencias en el tiempo, y sus valores son relativamente iguales. La mezcla 4 es significativamente diferente y sus valores aumentan en el tiempo, tal como se expresó numéricamente en el método de Tukey.



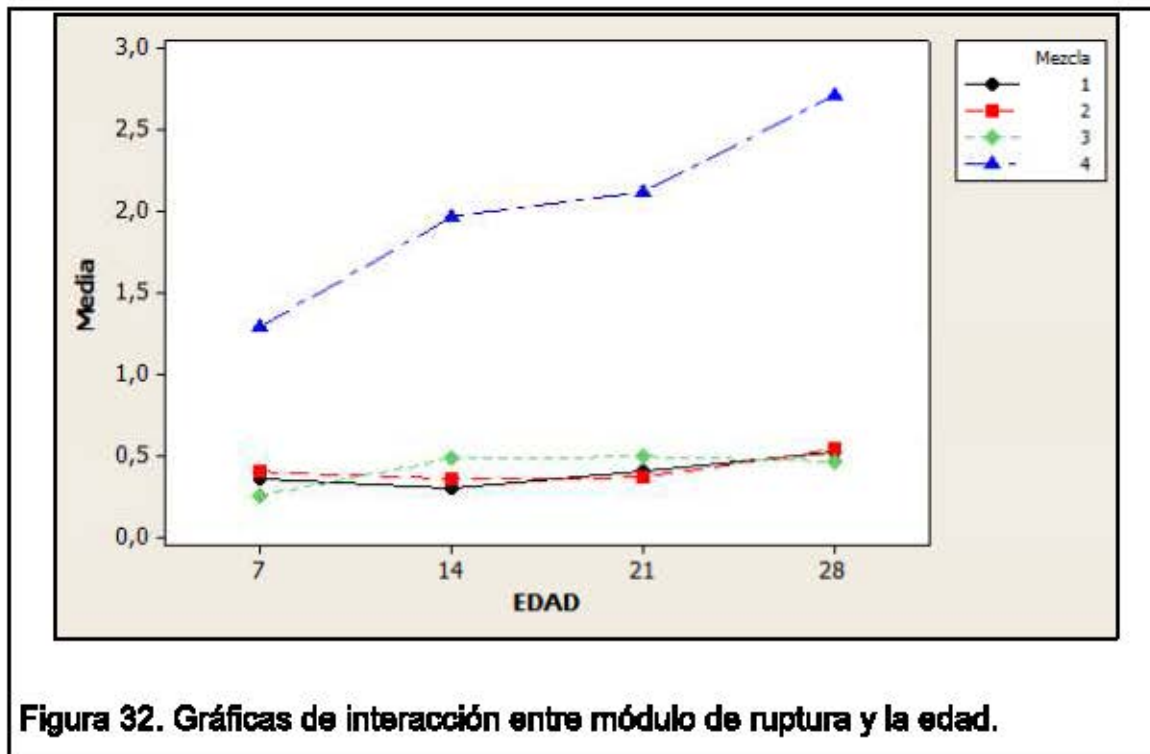


Figura 32. Gráficas de interacción entre módulo de ruptura y la edad.

Las resistencias mecánicas de las probetas elaboradas dependen de la relación agua y cemento en la mezcla; el lodo residual contiene material arcilloso que se humedece con facilidad quitando agua a la mezcla hasta su saturación. La resistencia mecánica depende principalmente de que las partículas del cemento se hidraten y reaccionen efectivamente para formar un cuerpo sólido y rígido.

### 5.3 Medición de aislamiento acústico

A partir del modelo matemático que se utilizó para cumplir con el objetivo específico quinto referente al análisis de la eficacia de los tableros aislantes de ruido elaborados, se analizó que el tablero uno tiene un mejor índice de aislamiento acústico en relación al tablero dos y tres como se evidencia en la figura 28; es decir que el tablero más sólido conformado por lodo residual, cemento y agua es el óptimo a ser utilizado.

La diferencia en los índices de aislamiento acústico predomina por el material absorbente agregado en la mezcla; por lo descrito en el primer capítulo, sobre aislamiento acústico, no resulta beneficioso utilizar un material absorbente

como componente de un elemento a ser utilizado como material aislante de ruido debido a que las ondas sonoras que se propagan en un recinto cerrado se reflejan al chocar con el material sólido pero pasan a través del material absorbente, dando como resultado una reducción del índice de aislamiento acústico(Liarte, 2013, pp. 22 - 26). Para el aislamiento acústico es necesario el uso de paredes duras y pesadas que reflejen la energía, mas no que la absorban.

El uso ideal del material absorbente debe estar orientado al aislamiento acústico por tabiques dobles.

En comparación con el índice de aislamiento acústico del yeso laminado de 12,7 mm y 25 mm determinados con el mismo modelo matemático (Anexo4), cuyos índices son 26 y 27 respectivamente, los tableros aislantes de ruido compuestos por lodo residual, cemento y agua tienen una mayor eficacia de aislamiento acústico; su principal uso puede estar orientado a formar parte del acabado final en la elaboración de tabiques o paredes dobles.

## **6. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO**

En el presente capítulo se detallaron los beneficios y costos operacionales necesarios de la elaboración de tableros aislantes de ruido a partir del aprovechamiento de lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales no domésticas de la fabricación de sanitarios.

### **6.1 Análisis de económico**

En la tabla 12 se desglosó el detalle de los costos involucrados en la elaboración de tableros aislantes de ruido del presente proyecto de investigación; los costos operacionales que se detallan son los costos necesarios para la elaboración de un tablero de 30 cm x 30 cm.

Tabla 12. Desglose de costos – elaboración de tableros aislantes de ruido.

Tipo	Detalle	Valor (USD)
<b>Costos de análisis del material</b>	muestreo	\$ 20,00
	Caracterización física	\$ 45,00
	Espectrometría gamma	\$ 56,00
	Caracterización química	\$ 88,00
<b>Costos operacionales</b>	Elaboración de moldes	\$ 0,50
	Cemento	\$ 1,80
	Lodo	\$ 0,00
	Agua	\$ 0,0003
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 211,30</b>

La elaboración de tableros aislantes de ruido (costo operacional) en laboratorio tiene un bajo costo; el costo de análisis del material recibido (lodo residual) es el más representativo debido a la prestación de servicios de laboratorios acreditados.

Con el presente trabajo de investigación se ha demostrado que el lodo residual industrial puede ser aprovechado para la elaboración de tableros aislantes de ruido, productos que en futuro tendrían una gran acogida en el mercado debido a su propiedad aislante de ruido y por el bajo costo que tendrá por ser un producto elaborado a partir de un material considerado como desecho de la industria de fabricación de sanitarios.

Es importante mencionar que el costo monetario descrito en el presente capítulo refleja la producción artesanal de los tableros aislantes de ruido; la inversión y costos operacionales industriales dependerán de la cantidad de tableros a producir.

## 6.2 Beneficios

En la planificación que generalmente se realiza para la construcción de un relleno sanitario, se ejecutan una serie de estudios en los cuales se toma en cuenta el volumen total y el tiempo estimado en el que será cerrado (vida útil

del relleno sanitario) el relleno sanitario. A partir de la determinación promedio diario de lodo residual producido, que se realizó en el capítulo dos del presente estudio, se estimó que la industria de fabricación de sanitarios produce un aproximado de 1376,05 m<sup>3</sup> al año.

Por la mala planificación de la ciudad de Quito, los rellenos sanitarios tienen un manejo no tan técnico, y su ubicación no permite el abastecimiento para todos los desechos producidos en la ciudad, además de que los residuos aprovechables no son valorizados en su totalidad. Uno de los beneficios del presente trabajo de titulación se enfocó a la reducción del material que llega al relleno sanitario semanalmente, por parte de la industria de la fabricación de sanitarios.

En la actualidad el lodo residual de la industria de la fabricación de sanitarios es transportado semanalmente por un camión recolector de la empresa EMASEO, dicho transporte hace uso de combustible diesel que al ser combustionado libera emisiones que contaminan la atmósfera. La reducción en la liberación de gases contaminantes que se producen por el transporte del lodo residual resulta beneficioso para el medio ambiente y la salud de las personas de la ciudad de Quito.

Otro beneficio resultante a partir del presente estudio es la reducción en gastos del servicio de recolección de residuos que anualmente paga la empresa EDESA S.A. a EMASEO.

## **7. CONCLUSIONES**

Los lodos residuales no peligrosos de una planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la fabricación de sanitarios pudieron ser aprovechados para la elaboración de tableros aislantes de ruido, ocupando de tal manera el 50% en la composición de material del producto que se elaboró.

A través del análisis de los parámetros físicos de humedad, sólidos totales y textura se concluyó que la composición del lodo residual fue principalmente material sólido, porque contiene el 72% de sólidos totales y 28% de agua, además de que posee material arcilloso en un 60% lo cual evidencia que el lodo residual es un material homogéneo semisólido cuya composición depende del tipo de material presente en el agua residual, y del sistema que se utilice en el tratamiento de aguas residuales.

El lodo residual industrial de la fabricación de sanitarios no excede el límite de concentración de actividad de los radionucleidos (radiación gamma), y tampoco sobrepasa el índice de radiación externa gamma. Calificando al producto elaborado como fuente no radiactiva, permitiéndolo ser utilizado en ambientes donde las personas estarán en contacto directo.

Mediante la caracterización química se concluyó que los parámetros de metales pesados (arsénico, bario, cadmio, cromo, plomo y selenio) presentes en el lodo residual industrial de la fabricación de sanitarios no exceden los límites máximos permisibles estipulados en la NORMA TÉCNICA DE RESIDUOS PELIGROSOS (industriales y domésticos) de la RESOLUCIÓN N° 002.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de la caracterización físico química se concluyó que los lodos residuales, provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la fabricación de sanitarios, son no peligrosos.

A partir de la parte experimental del presente trabajo de titulación se definió que los materiales que se utilizaron en la mezcla para la elaboración de los tableros aislantes de ruido fueron el lodo residual, cemento y agua con dosificaciones del 37%, 37% y 26% correspondientemente.

En el presente trabajo de titulación se diseñaron tres tipos de tableros aislantes de ruido, a partir del uso de lodo residual no peligroso, se diferenciaron en la dosificación del material absorbente; sin material absorbente, con plancha de poliestireno expandido y con perlas de poliestireno expandido.

Se calculó el índice de aislamiento acústico de los tres tableros aislantes de ruido elaborados y se concluyó que el tablero más eficaz fue el que no contuvo material absorbente, con un índice de aislamiento acústico de 27 dB.

El diseño experimental del presente trabajo de titulación nos ayudó a definir que el uso de material absorbente en los tableros aislantes de ruido no dieron mejores resultados de eficacia en aislamiento acústico de los tableros elaborados.

A partir del cálculo de índices de aislamiento acústico de los materiales se concluyó que el tablero aislante de ruido que se elaboró sin material absorbente obtuvo un aislamiento acústico mayor en 6 dB que las láminas de yeso utilizadas en la actualidad.

Del costo beneficio del presente proyecto de investigación se concluyó que el costo que se generó en la elaboración del proyecto fue mínimo en comparación al beneficio obtenido, sin embargo la proyección a la producción industrial de tableros aislantes de ruido elaborados a partir del uso de lodo residual industrial resultaría costoso, inversión que se recuperaría en un periodo de tiempo no extenso.

## **8. RECOMENDACIONES**

Los lodos residuales no peligrosos de la industria cerámica sirven como material de carga o agregados para la elaboración de materiales de la construcción.

Se recomienda que los recintos aislados acústicamente con los tableros elaborados en el presente proyecto, sean utilizados en ambientes aireados debido a radiación.

## REFERENCIAS

- Asociación Alemana de Saneamiento. (1988). Aguas residuales de la industria cerámica y de la producción de carbonato de calcio. Alemania
- Asociación Técnica de Poliuretano Aplicado [ATEPA]. (2010). Poliuretano Proyectado. España
- C. Banchón. (2011). Tratamiento de aguas residuales. Ecuador
- CENEC. (2010). Variables de Establecimientos Económicos.
- Centro de Investigaciones de Desarrollo Industrial. (2005). Materiales cerámicos. Propiedades, Aplicaciones y Elaboración. Mexico
- CESCE. (2013). La industria cerámica, un sector en alza exportadora, dinámico e innovador. España
- Comisión Federal de Electricidad. (2001). Manual de Tecnología del concreto. Limusa
- D. Ortiz, M. Carvajal, F. Vallejo y D. Yugsi. (2014). Diseño, construcción y automatización de una máquina para el esmaltado de dispensadores cerámicos. Ecuador
- E. Galán y P. Aparicio. (2011). Materias primas para la industria cerámica. España
- EDESA S.A. (2011). Proceso productivo EDESA. Quito-Ecuador
- F. Kemmer. J. McCallion (1990). Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México; McGraw-Hill.
- F. Pérez y M. Urrea. (2011). Abastecimiento de aguas. España
- Fanosa. (2010). Ficha técnica de productos – perla pre-expandida. México. Recuperado el 23 de abril del 2014 de [http://www.fanosa.com/productos/fichas\\_fanosa/perlita.pdf](http://www.fanosa.com/productos/fichas_fanosa/perlita.pdf)
- Faraco, Riella y Bernardin. (2007). Aprovechamiento de residuos abrasivos y de esmaltes en cerámicas expandidas. Brasil
- Institut de Promoció Cerámica. (2010). Baldosas cerámicas. Características físico-químicas. Resistencia a la flexión. España
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (2000). Rocas y minerales Industriales de Iberoamérica. España



- Liarte, S. (2013). Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación. España
- M. García. (2006). Diseño y dimensionamiento de una EDAR mediante tratamiento biológico de fangos activados. España
- MAYDISA. Celenit, aislante natural. Recuperado el 22 de abril del 2014 de <http://www.maydisa.com/productos/celenit/adyacentes.asp?menu=4&id1=10&id2=114&id3=217&id4=131>
- Menéndez, V. (2008). Medidas de aislamiento acústico. España
- Merritt F. (1984). Manual del Ingeniero Civil. Mexico; Mc GRAW-HILL
- National Ready Mixed Concrete. (2008). CIP 12 – Colocación de concreto en clima cálido.
- Netsch Gerätebau. (1988). Operating instructions Bending Strenght Tester 401. Alemania
- Novaworld. (2010). Poliestireno. Ecuador. Recuperado el 23 de abril del 2014 de <http://novaworldsa.com/poliestireno.html>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2007). Aplicación de los conceptos de exclusión, exención y dispensa. Austria
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Perú
- Pérez, J. (2013). La estadística: Una orquesta hecha instrumento. Recuperado el 25 de junio del 2014 de <http://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/01/28/test-hsd-de-tukey/>
- Pladur Barcelona. (2012). Principios del aislamiento acústico. Recuperado el 22 de abril del 2014 de [http://www.pladur-barcelona.es/aislamiento\\_acustico.html](http://www.pladur-barcelona.es/aislamiento_acustico.html)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Nueva York, EE.UU
- R. Hevia. (2012). Materias primas: Importancia de su conocimiento para la formulación cerámica. Recuperado el 16 de abril de <http://www.ceramicaycristal.com/cc145pdf/materias145.pdf>

- R.S. Ramalho. (2003). Pretratamientos y tratamientos primarios. Tratamiento de aguas residuales. España
- Resolución 0002- Norma técnica. (2008).. Quito-Ecuador
- Revista cemento. (2011). Durabilidad de las estructuras: corrosión por carbonatación. Edición N°25.
- Rivera, G. (2006). Agregados para mortero o concreto. Colombia
- Rojas R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Recuperado el 14 de mayo del 2013 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/aguaresi.pdf>
- Secretaría del Ambiente. (2013). Descargas líquidas. Quito-Ecuador
- Servyeco Grupo. (2008). Productos químicos para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado el 21 de abril del 2014 de [http://www.servyeco.com/530053\\_es/Productos-qu%25C3%25ADmicos-para-tratamiento-de-aguas-residuales/](http://www.servyeco.com/530053_es/Productos-qu%25C3%25ADmicos-para-tratamiento-de-aguas-residuales/)
- Tamayo, I. (2013). Análisis de varianza con SPSS 8.0. España
- Tecexsa. (2006). Tratamiento primario Flotación vs Decantación. España
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. (2003). Ecuador
- UPME y COLCIENCIAS. (2007). Ahorro de energía en la industria cerámica. Colombia
- UPRM. (2012). Parámetros físico – químicos: Conductividad. Recuperado el 24 de mayo del 2014 de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-conductividad.pdf>
- V. Ibañez, A. Gómez, M. Bovea, A. Gallardo y F. Colomer. (2011). Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs). España
- Velázquez, M. y Ordorica, M. (2009). Ácidos, bases, pH y soluciones reguladoras. Inglaterra
- Zagal y Sadzawka. (2007). Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos. Chile A.I Avgustinik. (1983). Cerámica. España; Reverté S.A.

## **ANEXOS**

# Anexo 1

## Informe y espectro del análisis de radiación gamma

 <p style="text-align: center;"><b>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO</b></p> <p style="text-align: center; font-size: small;">MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIACTIVA</p>
INFORME DE ANÁLISIS N°: SCAM.46830.2014.142	

<p><b>SOLICITANTE:</b>                  Municipio de Zumbro                  Municipio de Zumbro                  Municipio de Zumbro                  Fecha de ingreso al laboratorio                  Fecha de procesamiento de muestras                  Fecha de análisis finalizada                  Fecha de entrega del informe</p>	<p><b>Ocasion Provisorio Muestra Suspecta:</b>                  Lugar:                  Cliente:                  (PMA L1)                  17 de junio de 2014                  22 de junio de 2014                  23 de junio de 2014                  24 de junio de 2014</p>
--	--

CODIGO VAR MUESTRA	CODIGO CLIENTE MUESTRA	Bi-207*		K-40*		U-235**		Pu-239*		Bi-214*	
		Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/Kg
AMAD-2014-142-01	MUESTRA LODO	1,5	4,30	20,1	45,2	306,3					1,35
<b>CODIGO VAR MUESTRA</b>	<b>CODIGO CLIENTE MUESTRA</b>	<b>Pb-214*</b>	<b>Pb-212*</b>	<b>Tl-208*</b>	<b>TOTAL</b>						
AMAD-2014-142-01	MUESTRA LODO	143	5,82	10,1	810,72						

\* Técnica de análisis utilizada Espectrometría gamma  
 \*\* Estimación por espectrometría gamma  
 NOTA: En variables esenciales se han tomado los valores máximos de radiación gamma o sus sumas no deben superar 1000 Bq/Kg. Se recomienda encarecer de usar esta muestra como referencia para construcción y con propósitos académicos, calcule el índice de radiación natural gamma

**Revisado:** Carmen en revisión de Datos de Zirc. Tratamiento de la muestra y E. Inspección Técnica.  
 Carlos de autorización de AEP-243 y 5130. Material interno. MCEM (DOLAJA/000)  
**Elaborado:** Experto en radiación gamma con detector anticoincidencia (registro de eventos). (Módulo interno) (MCEM-30434-46830-000)  
**Equipos:** Contador de Zircón de Zircón de LUCAS (MCEM-46830-000) (Módulo interno)  
 Contador de radiación gamma (Módulo interno) (MCEM-30434-46830-000)  
 Espectrómetro Gamma Gemma de 7 % de eficiencia relativa. 3 (3) de resolución

**Notas:**

- 1 El resultado de este informe se emitirá para 1000 Bq/Kg en el caso de que el resultado sea inferior a 1000 Bq/Kg.
- 2 Documento confidencial para el uso de Control de Calidad. No puede reproducirse fuera del laboratorio sin autorización del laboratorio.
- 3 Lado posterior que fue el que se usó para el análisis de radiación gamma. No puede reproducirse fuera del laboratorio sin autorización del laboratorio.
- 4 Elaboración de la radiación gamma de la muestra en el laboratorio de radiación gamma.
- 5 Los datos de este informe pueden ser utilizados para fines académicos y de investigación, siempre y cuando se cite la fuente de donde se obtuvo el informe. No se permite su reproducción.

Procedimiento de Control de Calidad





SUBSECRETARÍA DE CONTROL  
Y APLICACIONES NUCLEARES

Firma de Responsabilidad



# Vicente Unda

NORMA TECNICA AMBIENTAL		MONITOREO DE LODOS LIXIVIADOS										
CONTAMINANTE	LIMITE MÁXIMO (mg/l)	UNIDADES	PARÁMETROS MONITOREADOS	AÑO 2005	AÑO 2006	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	
ARSENICO	5	mg/l	ARSENICO					0,147	< 0,000030	<0,010	0,01	0,01
BARIO	100	mg/l	BARIO	0,46	0,02	5,26	1,125	0,816	< 0,020	0,453	0,48	0,483
CADMIO	1	mg/l	CADMIO	0,016	0,008	0,007	0,019	0,007	0,016	<0,010	0,171	0,01
CROMO	5	mg/l	CROMO	0,25	0,04	0,039	<0,04	0,04	< 0,040	<0,010	0,01	0,017
PLATA	5	mg/l	PLATA	0,024	0,002	0,002	0,014	0,007	0,01			
PLOMO	5	mg/l	PLOMO	0,079	0,09	0,09	0,014	0,114	< 0,090	<0,050	0,05	0,05
SELENIO	1	mg/l	SELENIO						< 0,000030	<0,010	< 0,1	0,022
PH			PH	6,1		7,84	8,16					
CINC		mg/l	ZINC	35,87		77,2	3,183					
COBRE		mg/l	COBRE	0,082		0,03	<0,02		< 0,000050	Mercurio	<0,010	
MATERIA ORGANICA		mg/l	MATERIA ORGANICA	0,80%		0,11	0,1925					
HUMEDAD		gravimetrico	HUMEDAD	28,78		46,43	68,045					
ACEITES Y GRASAS		% P	ACEITES Y GRASAS	0,1331		17,39	9,43					
CIANURO		mg/l	CIANURO	0,01 mg/Kg		0,004						
SULFUROS		mg/l	SULFUROS	14,8 mg/Kg		5						
SOLIDOS TOTALES		mg/l	SOLIDOS TOTALES			53,57	31,955					
COBALTO		mg/l	COBALTO	0,075		0,324	<0,04					
NIQUEL		mg/l	NIQUEL	0,042		0,137	0,104					
DENSIDAD APARENTE		mg/l	DENSIDAD APARENTE	0,612		0,7621	1,7037					

## Anexo 2

Resumen de monitoreos de lodos industriales 2006 – 2012

## Anexo 3

### Informe de análisis químico – metales pesados



INFORME DE ENSAYOS No. 18701-01



**NOMBRE DEL CLIENTE:** EDESA S.A.  
**DIRECCION:** Av. Micaela Barrios 507 y Colombia 11401  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Lodo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** Correo de Muestra: Fuga en Lechos Industriales - Cerritos  
 Muestreado por: LABANNCY CIA. LTDA.  
**FECHA DE RECEPCION:** 23 de octubre del 2013  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 23 de octubre del 2013 al 5 de noviembre del 2013  
**FECHA DE EMISION:** 6 de noviembre del 2013

Ensayo	Método Referencial - Laboratorio	Unidades	Límite de Clasificación	Resultado
Pb (ppm)	APHA 3122 B - PESQUIMETRIA	ppm	0.2%	0.012
Cd (ppm)	APHA 3123 E - PESQUIMETRIA	ppm	0.2%	0.001
Cu (ppm)	APHA 3123 E - PESQUIMETRIA	ppm	0.2%	0.011
Cr (ppm)	APHA 3124 A - PESQUIMETRIA	ppm	0.05%	0.010
Hg (ppm)	APHA 3124 B - PESQUIMETRIA	ppm	0.02%	0.000
Mn (ppm)	APHA 3122 B - PESQUIMETRIA	ppm	0.05%	0.010

**VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS REQUERIDOS POR ODE**

Ensayo	Rango	Incertidumbre
Pb	0.10 - 0.20	± 0.001 mg / litro (valor máximo 0.20%)
Cd	0.05 - 0.10	± 0.001 mg / litro (valor máximo 0.20%)
Cu	0.05 - 0.10	± 0.001 mg / litro (valor máximo 0.20%)

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.**

NOTA:

- Método de Clasificación de Lavados - EPA 1311
- Los análisis realizados son ("") no están incluidos en el alcance de acreditación del ODE
- El resultado del análisis
- El informe solo afecta a las muestras presentadas a ensayar
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**Anexo 4**  
**Informe de cálculo de índice de aislamiento acústico**

**INFORME ISO 12354-1**

Índice de reducción sonora de acuerdo a la norma ISO 12354-1  
Estimación características acústicas a partir de especificaciones de los elementos

Alumno: Mary Ocaña

Fecha:

25/05/2014

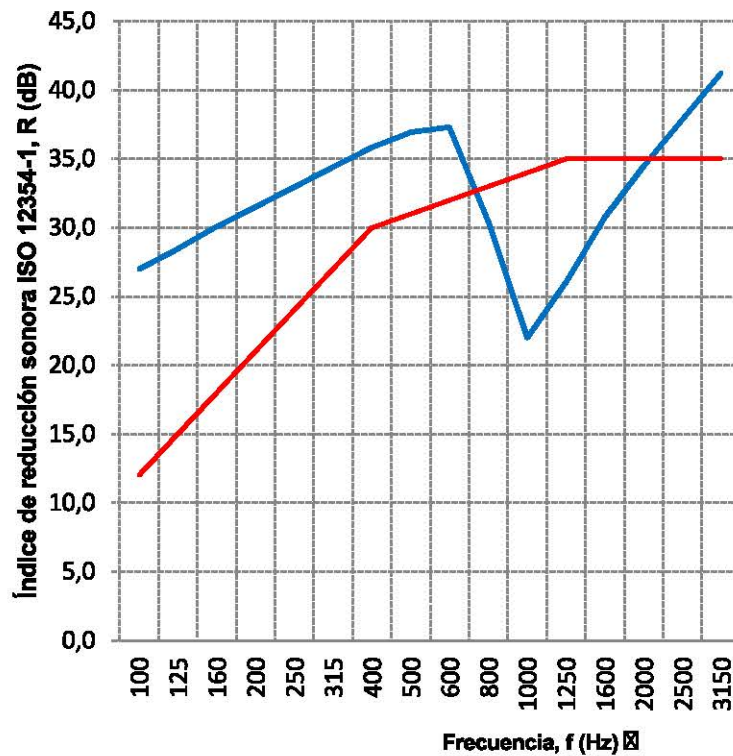
Descripción elemento separador:

Material	Lodo residual y cemento	
Espesor	0,020	m
Masa:	33,78	kg/m <sup>2</sup>
Fc	834,6	Hz
Ancho	1	m
Alto	1	m

Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

R<sup>w</sup> (dB) — ISO 717-1

Frecuencia Hz	R dB
100	27
125	28
160	30
200	32
250	33
315	34
400	36
500	37
600	37
800	30
1000	22
1250	26
1600	31
2000	34
2500	38
3150	41



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento

R<sub>w</sub> (C, Ctr)

31 ( -2 , -3 )

Informe número  
Tesis-0001



Cálculo realizado por:  
Ing. Guillermo Bolaños  
Docente apoyo académico  
Ing. Sonido y Acústica



## INFORME ISO 12354-1

Índice de reducción sonora de acuerdo a la norma ISO 12354-1  
Estimación características acústicas a partir de especificaciones de los elementos

Alumno: Mary Ocaña

Fecha:

25/05/2014

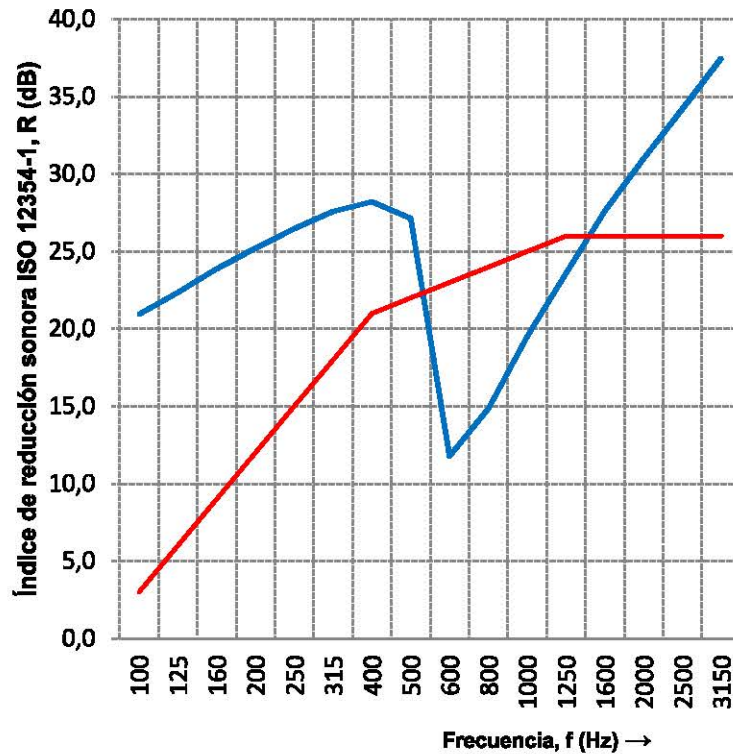
Descripción elemento separador:

Material	Lodo residual, cemento y EPS	
Espesor	0,020	m
Masa:	18,44	kg/m <sup>2</sup>
Fc	616,7	Hz
Ancho	1	m
Alto	1	m

Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

R<sup>w</sup> (dB)    ———    ISO 717-1    ———

Frecuencia Hz	R dB
100	21
125	22
160	24
200	25
250	26
315	28
400	28
500	27
600	12
800	15
1000	20
1250	24
1600	28
2000	31
2500	34
3150	37



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento

R<sub>w</sub> (C, Ctr)

22 ( -2 , -3 )

Informe número  
Tesis-0002



Cálculo realizado por:  
Ing. Guillermo Bolaños  
Docente apoyo académico  
Ing. Sonido y Acústica

## INFORME ISO 12354-1

Índice de reducción sonora de acuerdo a la norma ISO 12354-1  
Estimación características acústicas a partir de especificaciones de los elementos

Alumno: Mary Ocaña

Fecha:

25/05/2014

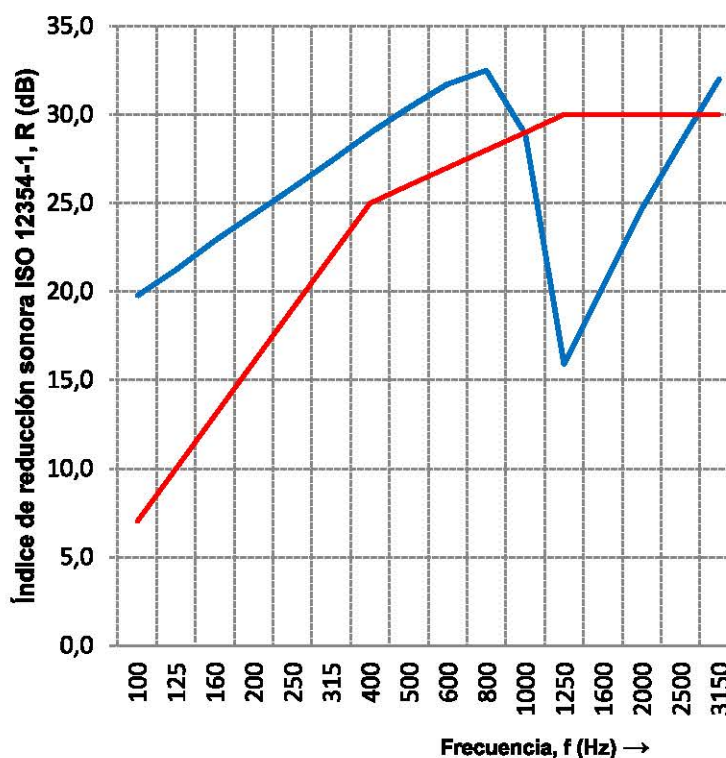
Descripción elemento separador:

Material	Placa yeso laminado	
Espesor	0,01	m
Masa:	14,4	kg/m <sup>2</sup>
Fc	1070,4	Hz
Ancho	1	m
Alto	1	m

Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

R'w (dB)    ————    ISO 717-1    ————

Frecuencia Hz	R dB
100	20
125	21
160	23
200	24
250	26
315	27
400	29
500	30
600	32
800	33
1000	29
1250	16
1600	20
2000	25
2500	28
3150	32



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento

Rw (C, Ctr)

26 ( -3 , -3 )

Informe número  
Tesis-0004



Cálculo realizado por:

Ing. Guillermo Bolaños

Docente apoyo académico

Ing. Sonido y Acústica

## INFORME ISO 12354-1

Índice de reducción sonora de acuerdo a la norma ISO 12354-1  
Estimación características acústicas a partir de especificaciones de los elementos

Alumno: Mary Ocaña

Fecha:

25/05/2014

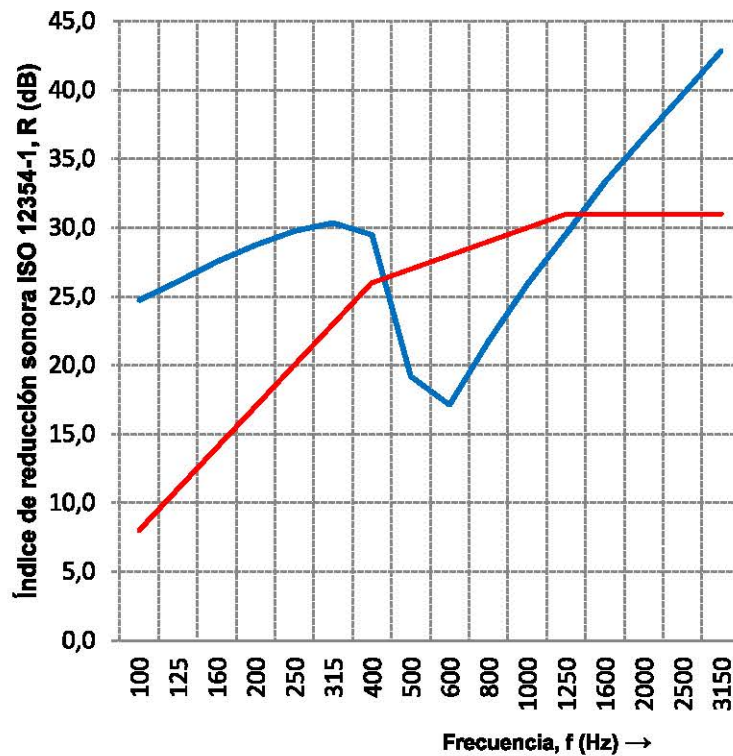
Descripción elemento separador:

Material	Placa yeso laminado	
Espesor	0,025	m
Masa:	30	kg/m <sup>2</sup>
Fc	513,8	Hz
Ancho	1	m
Alto	1	m

Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

R<sup>w</sup> (dB)    —    ISO 717-1    —

Frecuencia Hz	R dB
100	25
125	26
160	28
200	29
250	30
315	30
400	29
500	19
600	17
800	22
1000	26
1250	30
1600	33
2000	37
2500	40
3150	43



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento

R<sub>w</sub> (C, Ctr)

27 ( -2 , -3 )

Informe número  
Tesis-0004



Cálculo realizado por:  
Ing. Guillermo Bolaños  
Docente apoyo académico  
Ing. Sonido y Acústica

## INFORME ISO 12354-1

Índice de reducción sonora de acuerdo a la norma ISO 12354-1  
Estimación características acústicas a partir de especificaciones de los elementos

Alumno: Mary Ocaña

Fecha:

25/05/2014

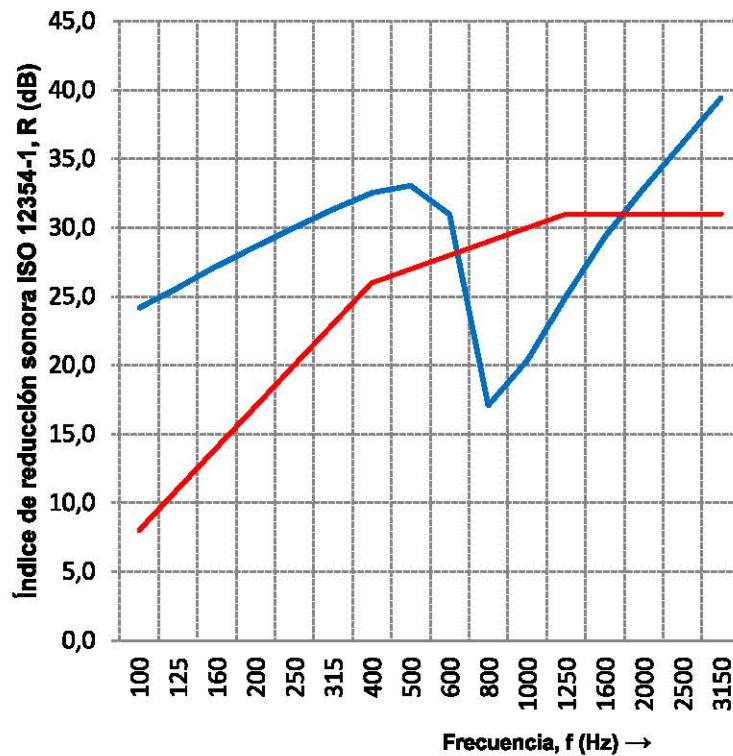
Descripción elemento separador:

Material	Lodo residual, cemento y perlitas poliestireno	
Espesor	0,020	m
Masa:	25,32	kg/m <sup>2</sup>
Fc	722,6	Hz
Ancho	1	m
Alto	1	m

Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

R<sup>w</sup> (dB) ——— ISO 717-1

Frecuencia Hz	R dB
100	24
125	26
160	27
200	29
250	30
315	31
400	33
500	33
600	31
800	17
1000	20
1250	25
1600	29
2000	33
2500	36
3150	39



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento

R<sub>w</sub> (C, Ctr)

27 ( -2 , -4 )

Informe número  
Tesis-0003



Cálculo realizado por:  
Ing. Guillermo Bolaños  
Docente apoyo académico  
Ing. Sonido y Acústica