ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"DISEÑO DE PROCESO PARA FABRICACIÓN DE BALDOSAS HIDRÁULICAS UTILIZANDO ARENAS DE RELAVES COMO AGREGADO FINO"

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

JORGE ANTONIO MENDOZA BARROS

GUAYAQUIL – ECUADOR
2017

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, a mis padres: Jorge Humberto Mendoza Quiroz, Sandra Miryan Barros Espinoza, a mis hermanos Fernando Santiago Mendoza Barros, Karina Alexandra Mendoza Barros, a Carlos Iván Conde Camba, Jacqueline Viky Suárez Herrera, Leonardo Omar Conde Camba quienes han sido mi familia en mi carrera universitaria.

Jorge Antonio Mendoza Barros.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres Jorge Humberto Mendoza Quiroz y Sandra Miryan Barros Espinoza por el apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.

A la ESPOL como universidad y a sus docentes quienes compartieron sus conocimientos para mi formación académica.

Al Dr. Eduardo Luis Recalde Chiluiza, PhD. Quien ha sido un excelente guía en este proyecto.

Jorge Antonio Mendoza Barros

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____

Eduardo Luis Recalde Chiluiza, PhD.
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

_____

Juan Carlos Pindo Macas, Ing.
MIEMBRO EVALUADOR

_____

Paúl César Carrión Mero, PhD.
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

_____

Jorge Antonio Mendoza Barros

RESUMEN

El presente proyecto realiza una evaluación de las arenas de relave de la planta de beneficio La López de la Empresa Minera ORENAS S.A. ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez parroquia Rio Bonito, las mismas que serán utilizadas para la fabricación de mosaicos hidráulicos (baldosas de hormigón).

Mediante una serie de ensayos físicos, se determinó que las arenas cumplen con los diferentes parámetros evaluados. Luego se identificó cual sería la dosificación correcta para que la mezcla entre los diferentes materiales sea optima y cumpla con la medida referencial de la norma del módulo de rotura.

Con estos análisis se busca encontrar una alternativa para el uso de las arenas de relaves, una vez que son almacenadas en las presas de relaves, y así disminuir el impacto ambiental que podrían ocasionar en un futuro, ya que son miles toneladas que anualmente se colocan en terrenos aledaños a la planta de beneficio.

Esta alternativa también nos muestra un beneficio económico ya que los materiales utilizados se los encuentra en el mercado a bajo costo por lo que la fabricación de las baldosas hidráulicas podría competir con los productos que ya existen a la venta.

PALABRAS CLAVE: Relaves – Rotura – Baldosa Hidráulica – Hormigón.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA II

AGRADECIMIENTO III

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN IV

DECLARACIÓN EXPRESA V

RESUMEN VI

ÍNDICE GENERAL VII

ABREVIATURAS XI

SIMBOLOGÍA XII

ÍNDICE DE TABLAS 14

ÍNDICE DE FIGURAS 15

CAPÍTULO 1 17

INTRODUCCIÓN 17

1.1 Generalidades 15

1.2 Ubicación de la zona de estudio 16

1.3 Clima (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007) 17

1.4 Planteamiento del problema 18

1.5 Objetivos 18

1.5.1 Objetivo General.....18

1.5.2 Objetivos Específicos 18

CAPÍTULO 2.....15

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA 15

2.1 MARCO TEÓRICO 21

2.1.1 Relaves 21

2.1.2 Residuos sólidos mineros.....21

2.1.2.2 Activos mineros 22

2.1.3 Características de las relaveras de ORENAS S.A. 23

2.1.4 Mosaico hidráulico (Institu Promoció Ceràmica, 1985) 24

2.1.4.1 Historia 24

2.1.4.2 El proceso de fabricación.....27

2.2 METODOLOGÍA.....30

2.2.1 Pruebas Experimentales.....33

2.2.2 Materiales y Equipos 40

2.2.2.1 Materiales: 40

2.2.2.2 Equipos: 43

CAPÍTULO 3.....21

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21

3.1 RESULTADOS 50

3.1.1 Resultados del ensayo granulométrico de la arena de relave 50

3.1.2 Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino de la capa 2 52

3.1.3 Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino de la Capa 3 53

3.1.4 Resultados de la identificación mineralógica de las arenas de relave 55

3.1.5 Resultados de los ensayos peso volumétrico, gravedad específica y absorción de la arena de relave 55

3.1.6 Resultados de los ensayos peso volumétrico, gravedad específica y absorción de la arena silícea y arena de relave 58

3.1.7 Resultados del módulo de rotura y resistencia de rotura de las baldosas hidráulicas 60

3.2 DISCUSIÓN 61

CAPÍTULO 4 50

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 50

4.1 Conclusiones 64

4.2 Recomendaciones 64

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
Aw	tropical savanna climate
S. A.	Sociedad Anónima
MF	módulo de fineza
DINAPAM	Dirección Nacional de Protección Ambiental Minera
$\mathbf{G_{esp}}$	Gravedad Específica
ABS	Absorción
PVS	Peso Volumétrico Suelto
PVV	Peso Volumétrico Varillado

SIMBOLOGÍA

mm	milímetro
°C	grados Celsius
T	tonelada
cm	centímetro
gr	gramo
ml	mililitro
m^3	metro cúbico
Kg	kilogramo
Ft^3	pie cúbico
cm^3	centímetro cúbico

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Datos históricos del tiempo Parroquia Río Bonito (Degerforserstr., 1982-2012) 17

Tabla II. Dosificación utilizada para la fabricación de la baldosa 39

Tabla III. Resultados de ensayo granulométrico 50

Tabla IV. Ensayo granulométrico del Agregado Fino Capa 2 52

Tabla V. Ensayo granulométrico del agregado fino capa 3 54

Tabla VI. Datos del Recipiente 55

Tabla VII. Factor de Conversión de ft^3 a m^3 55

Tabla VIII. Peso Volumétrico Suelto (Arena de relave) 56

Tabla IX. Peso Volumétrico Varillado (Arena de relave) 56

Tabla X. Peso Volumétrico Suelto (Mezcla de Arena Silícea y Arena de Relave) 58

Tabla XI. Peso Volumétrico VARILLADO (Mezcla de Arena Silícea y Arena de Relave) 59

Tabla XII. Resultados del Módulo de Rotura y Resistencia de Rotura de las Baldosas Hidráulicas 60

Tabla XIII. Datos del Módulo de Rotura 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de Ubicación planta de beneficio La López compañía ORENAS S.A. 16

Figura 2.1 Diseño de la Trepa y del Molde en la antigüedad……..30

Figura 2.2 Metodología a desarrollar en el proyecto 32

Figura 2.3 Obtención y secado de las arenas de relave.....33

Figura 2.4 Cuarteo de muestra y ensayo granulométrico 34

Figura 2.5 Identificación de los minerales presentes en la arena de relaves 35

Figura 2.6 Preparación y ensayos físicos.....36

Figura 2.7 Diseño y fabricación del molde de la baldosa 37

Figura 2.8 Muestra de arena silícica 38

Figura 2.9 Representación de las capas de la baldosa hidráulica 39

Figura 2.10 Muestra de Marmolina 40

Figura 2.11 Muestra de cemento blanco 40

Figura 2.12 Muestra de cemento gris.....41

Figura 2.13 Muestra de arena silícica 41

Figura 2.14 Muestra de arena de relave seca.....42

Figura 2.15 Muestra de líquido utilizado (H2O) 42

Figura 2.16 Conjunto de tamices utilizados.....43

Figura 2.17 Balanza Electrónica 43

Figura 2.18 Mezcladora de grano fino.....44

Figura 2.19 Plancha eléctrica utilizada para el secado.....44

Figura 2.20 Prensa de Compresión Digital.....45

Figura 2.21 Microscopio Óptico MEIJI.....45

Figura 2.22 Medidor de Carga SOIL TEST AP-170.....46

Figura 2.23 Equipo utilizado para cuartear muestras 46

Figura 2.24 Bomba de vacío VACUMET.....47

Figura 2.25 Pulidora automatizada FORCIMAT-TS 47

Figura 2.26 Piezas del molde para la fabricación de baldosas.....48

Figura 3.1 Pasante Acumulado VS Tamaño de muestra……51

Figura 3.2 Ensayo granulométrico del agregado fino de la Capa 2 52

Figura 3.3 Ensayo granulométrico capa 2 Pasante VS Tamaño 53

Figura 3.4 Ensayo granulométrico del agregado fino de la Capa 3 53

Figura 3.5 Ensayo granulométrico capa 3 Pasante VS Tamaño 54

Figura 3.6 Identificación Mineralógica de las arenas de relave 55

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Luego de ser extraído el mineral de interés (oro y plata), en la industria minera se obtienen grandes cantidades de material inerte (arenas de relave), por lo tanto, nos vemos en la necesidad de realizar un estudio de estas arenas de relave para darle una utilización que disminuya la cantidad de material a almacenar, y a su vez disminuir el impacto ambiental y paisajístico que ocasiona. La disposición final de las arenas de relave cuando pasan de ser flotadas es colocarlas en las conocidas presas de almacenamiento de relaves (relaveras) las cuales ocupan grandes extensiones de terreno.

¿Cómo se originan estas arenas de relave (material inerte o de estudio)? Una vez que se ha realizado el proceso de cianuración para extraer el mineral de interés en su mayoría (oro) se realiza el proceso de flotación; el objetivo primordial es desulfurar las arenas con el fin de retirar los sulfuros presentes y dejar una cola de flotación básicamente de óxidos de silicio (cuarzo) o aluminio, silicatos de potasio, hierro, aluminio (feldespatos, plagioclasas); cuya generación de drenaje ácido es nula siendo un material inerte y ambientalmente de mejor disposición para almacenar.

1.2 Ubicación de la zona de estudio

Las presas de relaves de la Planta de beneficio La López de la compañía ORENAS S.A., están ubicadas en el Recinto La López, Cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay, coordenadas UTM: 17´642505 E y 9´568117 N. Aproximadamente a 168 km de la ciudad de Guayaquil, la zona está a una altura de 90 m.s.n.m. la planta cuenta con cuatro presas antiguas de confinamiento, construidas entre los años 1998-2000, en una área de 30.134 m^2, actualmente cuenta con una nueva presa de relave que tiene una capacidad de confinamiento de 472.257 T., hasta la cota 105 m.s.n.m. (Jaramillo, E., 2014)

Figura 1. 1 Mapa de Ubicación de la planta de beneficio La López de la compañía ORENAS S.A.
Fuente: (Jaramillo, E., 2014)

1.3 Clima (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007)

La parroquia Rio Bonito tiene un clima tropical. En invierno, hay mucha lluvia más que en verano. De acuerdo con Koppen y Geiger el clima se clasifica como (Aw). La temperatura media anual en Rio Bonito se encuentra a 25.2 °C. La precipitación es de 834 mm al año.

El mes más seco es agosto, con 25 mm, con un promedio de 161 mm, la mayor precipitación cae en febrero.

El mes más caluroso del año con un promedio de 26.8 °C es abril y mientras que el mes de septiembre tiene la temperatura promedio más baja del año es 23.8 °C.

Tabla I. Datos históricos del tiempo Parroquia Río Bonito

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO RIO BONITO

month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
mm	132	161	145	111	50	38	28	25	29	43	80	96
°C	26.1	26.3	26.6	26.8	26.1	24.8	24.4	24.0	23.8	23.9	24.1	25.3
°C (min)	21.6	21.7	21.9	22.1	21.8	21.1	20.7	20.4	20.1	20.4	20.3	21.0
°C (max)	30.7	30.9	31.3	31.5	30.4	28.6	28.1	27.6	27.5	27.4	28.0	29.7
°F	79.0	79.3	79.9	80.2	79.0	76.6	75.9	75.2	74.8	75.0	75.4	77.5
°F (min)	70.9	71.1	71.4	71.8	71.2	70.0	69.3	68.7	68.2	68.7	68.5	69.8
°F (max)	87.3	87.6	88.3	88.7	86.7	83.5	82.6	81.7	81.5	81.3	82.4	85.5

Fuente: (Degerforserstr., 1982-2012)

1.4 Planteamiento del problema

¿Son útiles las arenas de relave para la fabricación de mosaicos hidráulicos (baldosas de hormigón)?

Se propone realizar una evaluación mecánica de las arenas de relaves de la planta de beneficio La López de la compañía minera ORENAS S.A. y analizar si dichas arenas sirven como agregado fino en la fabricación de mosaicos hidráulicos.

Los análisis serán desarrollados en los laboratorios de la ESPOL concretamente en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Evaluar las arenas de relaves de la planta de beneficio La López de la compañía minera ORENAS S.A. mediante análisis de laboratorio para la fabricación de mosaicos hidráulicos.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar pruebas físicas y mineralógicas para obtener los mejores resultados.
- Constatar si las arenas cumplen con todas las especificaciones establecidas para la fabricación de los mosaicos hidráulicos.

- Preparar la mezcla de los materiales aplicando las dosificaciones requeridas.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Relaves

Los relaves son residuos “no valiosos” provenientes de la minería y el procesamiento de mineral. Como el material es mayormente fino y húmedo, debe ser almacenado en botaderos de residuos industriales. Los relaves deberán ser depositados en terrenos de relleno que han sido sellados empleando botaderos. Si una topografía adecuada no está disponible, los relaves pueden también estar rodeados en todas partes por los botaderos. (Romero & Flores, 2010)

2.1.2 Residuos sólidos mineros

Los residuos sólidos mineros, que resultan del proceso de flotación de minerales polimetálicos en las plantas concentradoras de las minas son conocidos en la minería como relaves mineros, extendiendo estos en sus dos modalidades, como pasivos mineros y activos mineros. (Romero & Flores, 2010)

2.1.2.1 Pasivos mineros

Los pasivos ambientales mineros involucran tanto los socavones o labores mineras, así como los botaderos

(escombreras) y los relaves (presas de colas) de minas que dejaron de operar o en abandono, siendo los relaves mineros abandonados, en forma específica, los que generan las siguientes alteraciones en el medio físico (medio ambiente):

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Contaminación de suelos de la zona de influencia de estos depósitos.
- Impacto visual negativo.
- Riesgo continúo de daños al ecosistema frente a desastres naturales.
- Presencia de metales pesados en el medio físico.

2.1.2.2 Activos mineros

Los activos mineros, en forma específica, los relaves de proceso de flotación de minerales polimetálicos, son aquellos relaves mineros de minas en operación, solo una de las minas en el Perú produce 25.000 T diarias, lo que al mes 750 mil T y al año 9 millones de T que pasan a formar parte del relave minero de minas en operación [Ministerio de Energía y Minas, Perú

(1995)]. Este residuo sólido minero proviene únicamente de una sola mina, como existen más de 150 minas en operación, esta cifra al año del 2010 se elevaba a 900 millones de T de residuos mineros en forma anual y creciente.

2.1.3 Características de las relaveras de ORENAS S.A.

Cuatro presas de confinamiento de relaves construidas entre los años 1998-2000 con la aprobación de la DINAPAM, en aquel tiempo los criterios de diseño para las relaveras exigían la impermeabilización de las piscinas con una capa de 20 a 30 cm de arcilla compactada, lo cual fue considerado y ejecutado.

Capacidad de almacenamiento.- La nueva presa de relaves desde la cota 96 hasta la cota 105 m.s.n.m., puede almacenar 472.257T de relaves, a diciembre del 2013 se habían confinado 191.911 T., pudiendo aun recibir la cantidad de 280.346 T de relaves. Al ritmo de producción de 3700 T/mes el tiempo de vida es de 6,31 años.

Futuro de la nueva presa.- En lo posterior se considera seguir depositando relaves la cota 105 hasta la cota 111 m.s.n.m., es decir, 6 metros por encima de la relavera actual; teniendo así una capacidad adicional de 328.284 T de relaves, que al ritmo de

producción actual de 3700T/mes, tendríamos un tiempo de vida adicional de 7,4 años. Por lo tanto, esta nueva presa tiene una vida útil de 13,71 años.

Los cálculos de la capacidad de almacenamiento fueron a la fecha de diciembre del año 2013. A la fecha de febrero del 2017 lleva almacenando 332.511 T de relaves.

(Jaramillo, E., 2014)

2.1.4 Mosaico hidráulico (Institu Promoció Ceràmica, 1985)

2.1.4.1 Historia

Históricamente la baldosa hidráulica, se la encuentra en Europa particularmente en Italia. Entre los siglos XVII y XVIII donde se buscó imitar a las losetas de mármol mediante la compactación esto se lo llevaba a cabo sobre un banco de hierro y cemento natural humedecido, a la que con la ayuda de una espátula se aplicaba una fina capa de cemento coloreado que una vez que terminaba el proceso de secado, se sometía a bruñido manual.

La industrialización de este producto se da por motivo de la rápida comercialización del cemento artificial, llamado “Portland”, en medida a la patente de Joseph Aspdin (Reino

Unido, 1824) y la autorización para su fabricación. El cemento Portland, al ser mucho más barato y muy fácil manipulación, sumado a las propiedades en fresco y tras endurecimiento, desplazaron velozmente a las composiciones tradicionales de morteros y hormigones en base a la cal y algunos cementos naturales.

El antecedente es el idóneo para que la baldosa hidráulica sea un material de transición entre la era preindustrial y la industrial, entre la elaboración de manera artesanal y la producción masiva que nunca se hará realidad.

Aceptada la utilización de los materiales, las empresas que fabrican los mosaicos hidráulicos promocionan, sus productos en las Exposiciones Internacionales, Nacionales y Regionales, mencionando todas las acciones promocionales:

La baldosa hidráulica utilizada como pavimento de moda.

Las variedades estéticas ilimitadas, adaptadas además a todas las tendencias de la época.

La calidad en el acabado utilizando los materiales con los que se fabrican los mosaicos.

La colaboración de los mejores artistas en la realización de los diseños.

Butsems & Cía., inicia su actividad en 1856, fue la primera fábrica de mosaicos hidráulicos de Barcelona, y a ella se le sumaron otras empresas como: Escofet Tejera y Cía., Orsola Solá, Salvador Bulet y Cía., etc. Las diferencias entre las empresas serian la calidad técnica y estética.

En los años sesenta del siglo XX, comienza el declive de este producto lo que llevaría dramáticamente a la desaparición, esto se dio en pocos años, por la superposición de:

La pérdida de calidad, la poca variación en los diseños y sin variantes en la colocación del producto dio como resultado un retroceso generalizado.

El terrazo, fue el nuevo producto procedente de Italia que, por precio, sencillez de instalación y menor mantenimiento desplazaría al mosaico hidráulico, también por presentar una mayor resistencia y aspecto.

El brillo casi espectacular obtenido en el terrazo, que se lo conseguía mediante pulido mecánico, fue un argumento decisivo en la aparición masiva del nuevo material rígido.

Para conseguir el tamaño de 25x25 cm en los mosaicos hidráulicos era todo un reto ya que existía limitaciones en la

compactación, esto fue superado por el terrazo que pronto comercializó baldosas de formato 30x50 cm y mayores, siendo esencial en las ventas. Con la disminución de la demanda, las fábricas cambian la actividad hacia otros materiales de construcción o tomando como producto al mismo terrazo.

2.1.4.2 El proceso de fabricación

Existen pocas referencias sobre el proceso de fabricación de los mosaicos hidráulicos. La breve reseña que presentamos es procedente del catálogo de la Exposición que sobre este material organizó el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona.

El mosaico hidráulico está formado por tres capas cada una diferenciada:

La capa fina, que da la cara vista del mosaico o en la que presenta el diseño. Tiene unos pocos mm de grosor está compuesta de, cemento blanco, arena fina y/o polvo de mármol y colorantes. Si el mosaico no es monocolor, esta capa se divide en secciones, una para cada color, dando el diseño o decoración definitivos.

La capa intermedia, también de unos pocos mm, presenta una dosificación rica en cemento (1:1) y gracias a ella se da la

unión entre la capa fina con la base del mosaico tras la hidratación del cemento, a este proceso se lo denomina ***brasage.***

La capa del reverso del mosaico, capa pobre en cemento (1:4), sirve como soporte, tiene un grosor que completa el del mosaico (22-25 mm) y al cual se lo conoce como ***gros.***

Al tener constituidas las tres capas se logra un equilibrio en el comportamiento entre el secado y la hidratación del cemento.

El proceso de fabricación del mosaico hidráulico que incorpora más de un color en la capa fina tiene en su decoración la siguiente secuencia:

Todas las partes que componen el molde deben estar completamente limpia, la trepa y la plantilla deben estar impecable.

La cara del molde que actúa como base, y que está en contacto con la capa fina del mosaico, debe tener una ligera capa aceitosa muy sutil si presenta un exceso puede generar alteraciones en los colores y el resultado final.

Se retira la trepa con un movimiento rápido y hábil, se debe usar las asas, con eso se evita que se mezclen los colores utilizados para el diseño del mosaico.

Se utiliza un purgador el cual sirve para aplicar de manera espolvoreada la mezcla que constituye la capa intermedia.

Mientras el *brasage* recibe la humedad de la capa fina, es necesario limpiar cuidadosamente la trepa.

La tapa del molde es colocada después de haber realizado la unión de todas las capas dentro del molde, que será una de las partes más importantes en el proceso de prensado.

Después de realizado el prensado, se retira la tapa del molde y seguidamente se afloja el tornillo que sujeta el marco del molde.

Extrayendo de manera cuidadosa el marco del molde, que para tamaños de mosaicos iguales o mayores a 20x20 cm dispone de asas o manijas para un mejor uso.

Para la extracción del mosaico se lo coloca en posición vertical o inclinada, lo que facilita la manipulación del mosaico que se lo empuja por su reverso.

Se lo ubica al mosaico, de forma horizontal o vertical, en el recipiente donde es transportado a la sala de curado, evitando que se toquen unas a otras.

Se sumergen con todo y recipiente en agua, por poco tiempo, para que el mosaico reciba la suficiente cantidad de agua que ayuda en la hidratación del cemento.

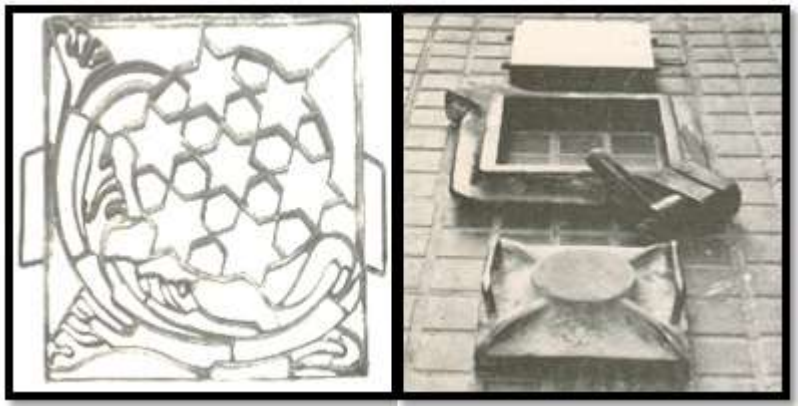

Figura 2. 1 Diseño de la Trepa y del Molde en la antigüedad
Fuente: Institu Promoció Ceràmica, 1985

2.2 METODOLOGÍA

La metodología a desarrollarse la hemos dividido en tres fases:

En la primera fase, la recopilación datos fue mediante información bibliográfica, consulta de proyectos, libros y manuales sobre la fabricación de mosaicos hidráulicos.

En la segunda fase, el trabajo de campo consistió en obtener las muestras de las arenas de relave en las relaveras de la planta de beneficio La López de la compañía minera ORENAS S.A. y se procede con los análisis de laboratorio mediante ensayos físicos de

granulometría, absorción, gravedad específica, peso volumétrico y mineralógico a las arenas de relaves para la determinación si es factible desarrollar los mosaicos hidráulicos con este tipo de arena, se procede a diseñar el molde para la fabricación de los mosaicos hidráulicos y la construcción del mismo. Luego de la toma de datos se realizan los cálculos de dosificación que permiten la determinación de la producción de los mosaicos hidráulicos.

La siguiente y última fase se realizó pruebas de flexión, determinación del módulo de rotura y resistencia a rotura de las baldosas hidráulicas e interpretación de resultados. Si las mismas cumplen con la Norma Ecuatoriana para la fabricación de Baldosas de Hormigón. Determinar las debidas conclusiones y recomendaciones acerca del proyecto para la ejecución del mismo en el futuro.

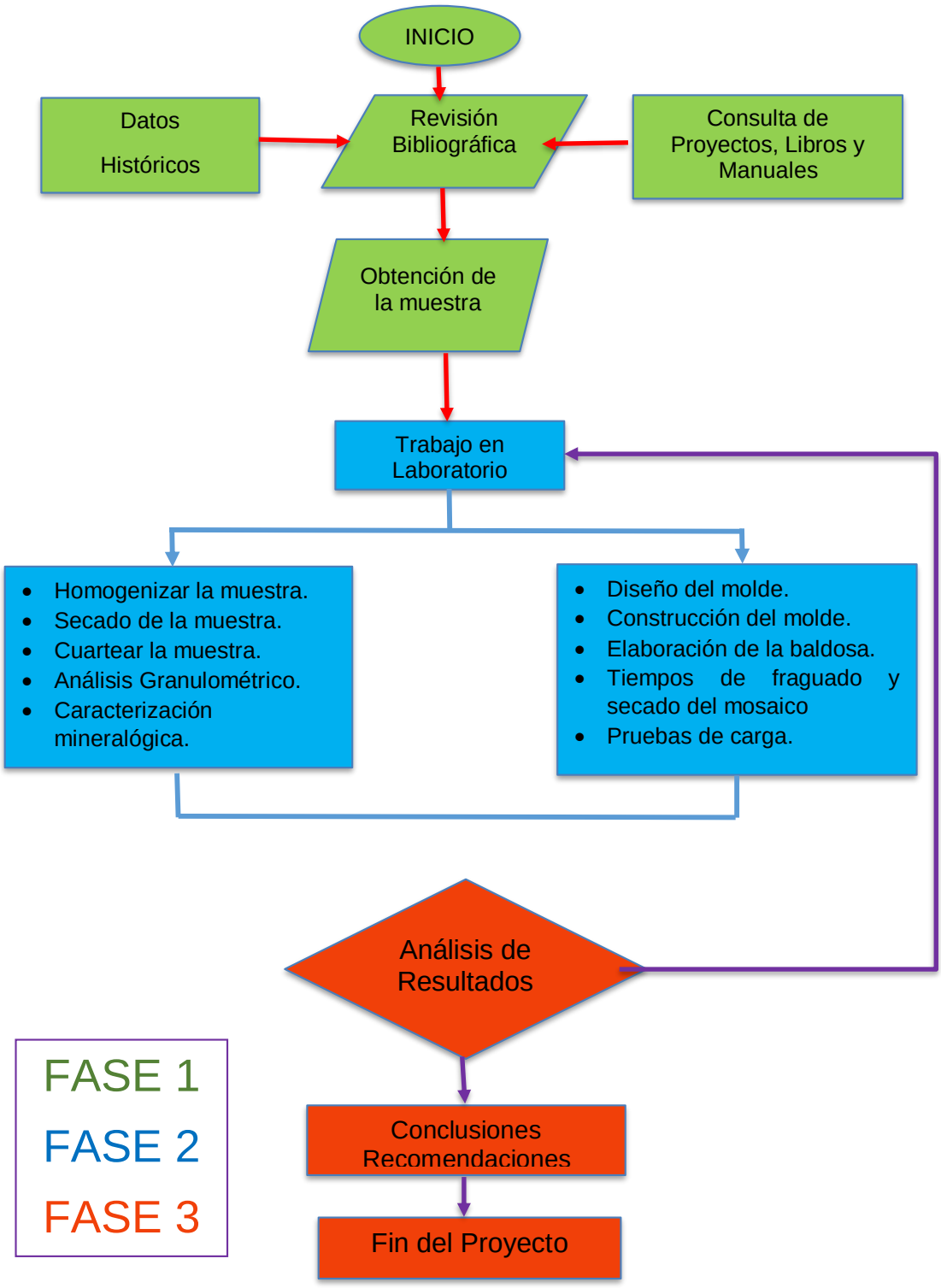

Figura 2. 2 Metodología a desarrollar en el proyecto
Fuente: Mendoza, J., 2017

2.2.1 Pruebas Experimentales

1. Se tomó muestras de las arenas de relaves y se las llevó al laboratorio donde se homogenizó toda la muestra y se le realizó el secado por una semana durante ese tiempo a la muestra se la tendió sobre fundas plásticas y que éstas se sequen al ambiente.

Figura 2. 3 Obtención y secado de las arenas de relave
Fuente: Mendoza, J., 2017

2. Una vez seca la arena de relave se le realizó el cuarteo de la muestra y se llevó a cabo el ensayo granulométrico de agregado fino para el cual se tomó 300 gr de muestra para realizar este ensayo.

Figura 2. 4 Cuarteo de muestra y ensayo granulométrico
Fuente: Mendoza, J., 2017

3. De la muestra que se utilizó para realizar el ensayo granulométrico se tomó una muestra para realizar una identificación mineralógica en el laboratorio de Petrografía.

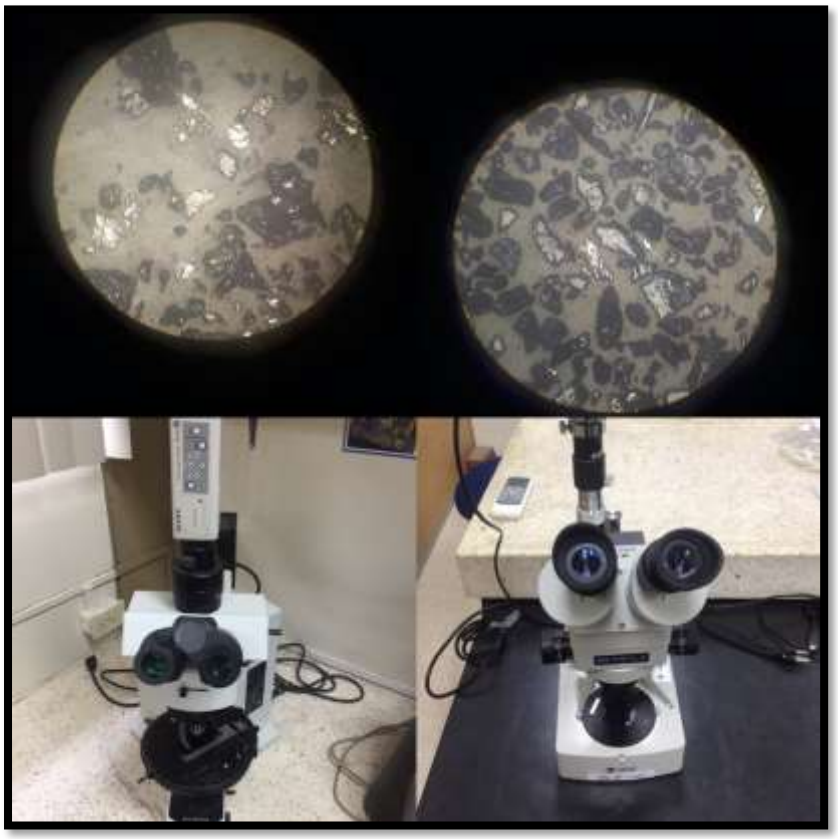

Figura 2. 5 Identificación de los minerales presentes en la arena de relaves
Fuente: Mendoza, J., 2017

4. A la arena de relave se le realizó otros tipos de ensayos como:

   - Peso volumétrico
   - Gravedad específica
   - Absorción

   Para estos ensayos se utilizó la cantidad de 8000 gr.

Figura 2. 6 Preparación y ensayos físicos
Fuente: Mendoza, J., 2017

5. Se diseñó y se fabricó el molde de la baldosa el cual fue hecho con los siguientes materiales:

   - 40 libras de aluminio de perfil
   - 4 libras de zinc de barco
   - 1 una platina de 1 metro de largo por 2 pulgadas de ancho y $^{1}/_{2}$ de espesor

   Fue fundido en un molde de espumafon para luego ser pulido en un torno.

Figura 2. 7 Diseño y fabricación del molde de la baldosa
Fuente: Mendoza, J., 2017

6. Se incluyó un tipo de arena silícea la cual sería utilizada en la capa 3 de la baldosa que ayudará a mejorar su resistencia. La misma que tiene un grano fino entre #18 - #35.

Figura 2.8 Muestra de arena silícica
Fuente: Mendoza, J., 2017

7. Luego de varias pruebas realizadas se consiguió la dosificación correcta.

Tabla II. Dosificación utilizada para la fabricación de la baldosa

Capas	Materiales	Cantidad
Capa 1	Marmolina	60 gr
	Cemento Blanco	140 gr
	Agua	100 ml
Capa 2	Cemento	300 gr
	Arena de Relave	100 gr
Capa 3	Agua	100 ml
	Arena silícica	200 gr
	Cemento	300 gr
	Arena de Relave	400 gr

Fuente: Mendoza, J., 2017

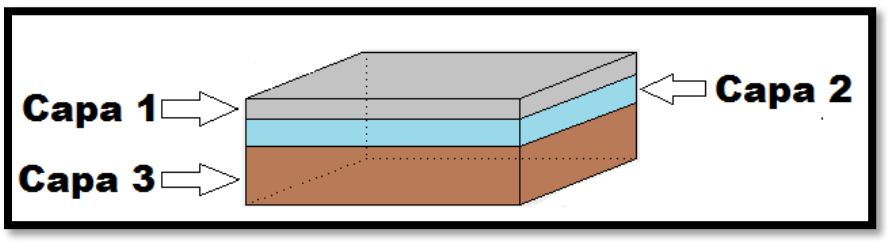

Figura 2. 9 Representación de las capas de la baldosa hidráulica
Fuente: Mendoza, J., 2017

2.2.2 Materiales y Equipos

2.2.2.1 Materiales:

- Marmolina.

Figura 2. 10 Muestra de Marmolina
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Cemento blanco.

Figura 2. 11 Muestra de cemento blanco
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Cemento gris.

Figura 2. 12 Muestra de cemento gris
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Arena Silícea.

Figura 2. 13 Muestra de arena silícica
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Arena de Relave.

Figura 2. 14 Muestra de arena de relave seca
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Agua.

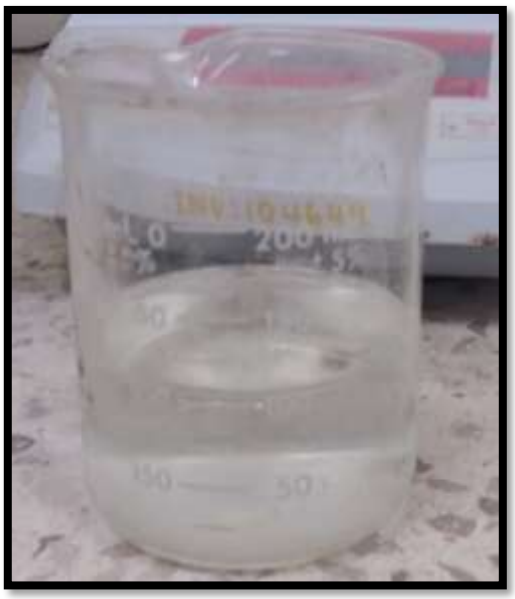

Figura 2. 15 Muestra de líquido utilizado (H2O)
Fuente: Mendoza, J., 2017

2.2.2.2 Equipos:

- Tamizador.

Figura 2. 16 Conjunto de tamices utilizados
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Balanza.

Figura 2. 17 Balanza Electrónica
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Mezcladora.

Figura 2. 18 Mezcladora de grano fino
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Plato Secante.

Figura 2. 19 Plancha eléctrica utilizada para el secado
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Prensa Hidráulica.

Figura 2. 20 Prensa de Compresión Digital
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Microscopio.

Figura 2. 21 Microscopio Óptico MEIJI
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Medidor de Carga.

Figura 2. 22 Medidor de Carga SOIL TEST AP-170
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Cuarteador.

Figura 2. 23 Equipo utilizado para cuartear muestras
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Bomba de vacío.

Figura 2. 24 Bomba de vacío VACUMET
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Máquina de pulido automatizado.

Figura 2. 25 Pulidora automatizada FORCIMAT-TS
Fuente: Mendoza, J., 2017

- Molde.

Figura 2. 26 Piezas del molde para la fabricación de baldosas
Fuente: Mendoza, J., 2017

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Resultados del ensayo granulométrico de la arena de relave

Tabla III. Resultados de ensayo granulométrico

INTERVALO (micras)	PESO (g)	PESO (%)	TAMAÑO (micras)	PASANTE ACUMULADO (%)
>3350	0	0,00%		
3350-2000	0,5	0,17%		
2000-850	0,5	0,17%		
850-600	0	0,00%		
600-300	23,7	7,94%	300	92,03%
300-212	76,7	25,70%	180	66,03%
212-150	40,1	13,43%	150	52,60%
150-125	37,4	12,53%	125	40,07%
125-106	26,7	8,94%	106	31,12%
106-90	26	8,71%	90	22,41%
90-75	16,9	5,66%	75	16,75%
<75	50	16,75%		
TOTAL	298,5			

Fuente: Mendoza, J., 2017

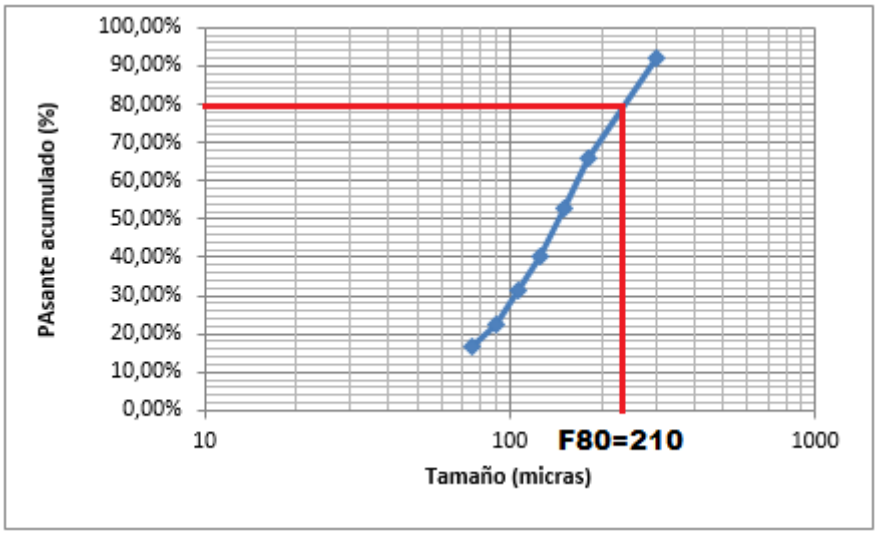

Figura 3. 1 Pasante Acumulado VS Tamaño de muestra
F80 abertura de la malla que deja pasar un 80% de alimentación.
Fuente: Mendoza, J., 2017

3.1.2 Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino de la capa 2

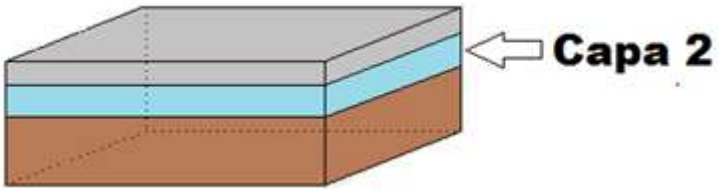

Figura 3. 2 Ensayo granulométrico del agregado fino de la Capa 2
Fuente: Mendoza, J., 2017

Tabla IV. Ensayo granulométrico del Agregado Fino Capa 2

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO CAPA 2					
TAMIZ	PESO PARCIAL	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE	ESPECIFICACIÓN ASTM C33-63
N° 8	7,45	2%	2%	98%	80 - 100
N°16	102,67	34%	37%	63%	50 - 85
N°30	87,45	29%	66%	34%	25 - 60
N°50	65,18	19%	85%	15%	10 - 30
N°100	34,56	12%	97%	3%	2 - 10
Fondo	1,89	1%	97%	3%	0
Total	299,2				

Fuente: Mendoza, J., 2017

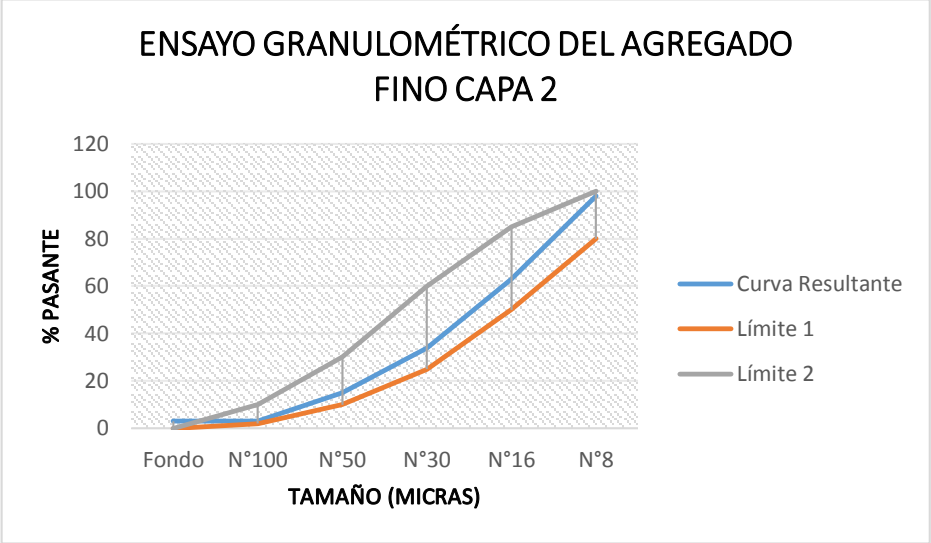

Figura 3. 3: Ensayo granulométrico capa 2 Pasante VS Tamaño
Fuente: Mendoza, J., 2017

3.1.3 Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino de la Capa 3

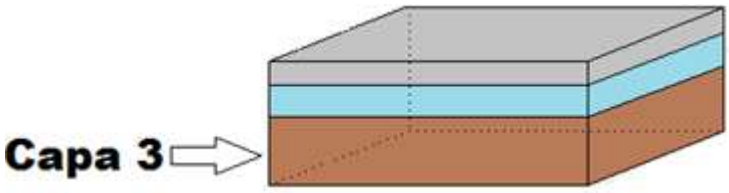

Figura 3. 4: Resultados del ensayo granulométrico de la capa 3
Fuente: Mendoza, J., 2017

Tabla V. Ensayo granulométrico del agregado fino capa 3

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO CAPA 3					
TAMIZ	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE	ESPECIFICACIÓN ASTM C33-63
N° 8	0,49	0%	0%	100%	80 - 100
N°16	103,64	35%	35%	65%	50 - 85
N°30	87,75	29%	64%	36%	25 - 60
N°50	27,25	9%	73%	27%	10 - 30
N°100	79,4	27%	100%	0%	2 - 10
Fondo	1,04	0%	100%	0%	0
Total	299,57				

Fuente: Mendoza, J., 2017

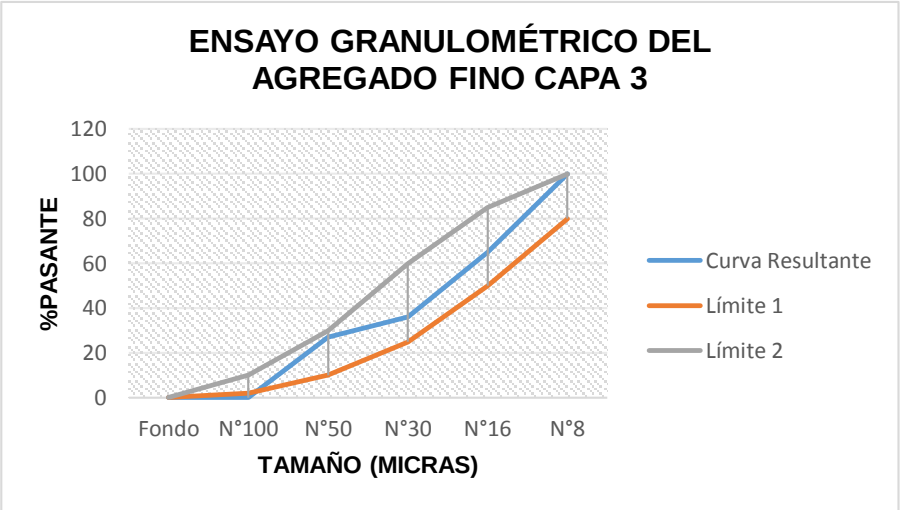

Figura 3. 5: Ensayo granulométrico del agregado capa 3 Pasante VS Tamaño.

Fuente: Mendoza, J., 2017

3.1.4 Resultados de la identificación mineralógica de las arenas de relave

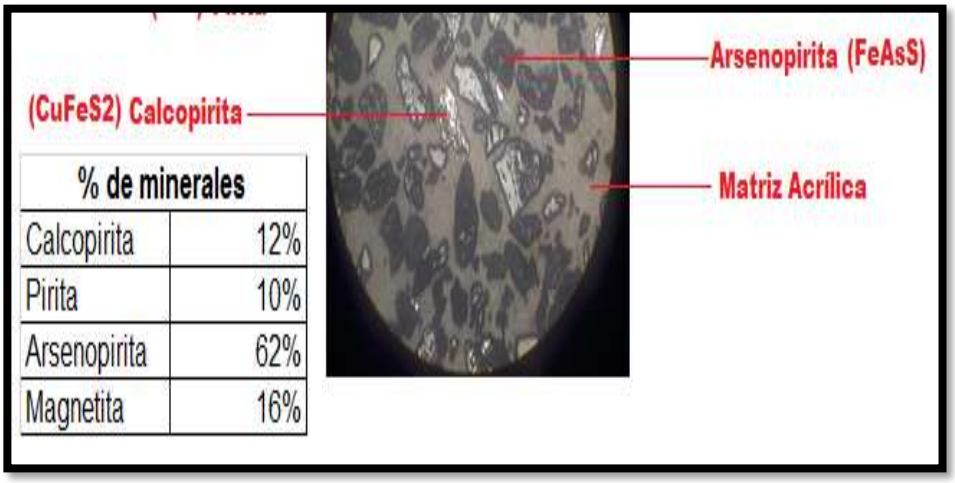

Figura 3. 6: Identificación Mineralógica de las arenas de relave
Fuente: Mendoza, J., 2017

3.1.5 Resultados de los ensayos peso volumétrico, gravedad específica y absorción de la arena de relave

Peso Volumétrico

Tabla VI. Datos del Recipiente

Volumen	0.1	ft^3
Peso	**1.6**	**Kg**

Fuente: Mendoza, J., 2017

Tabla VII. Factor de Conversión de ft^3 a m^3

1 ft^3	28316.84	cm^3
1 ft^3	0.02831	m^3
0.1ft^3	**0.002831**	**m^3**

Fuente: Mendoza, J., 2017

Tabla VIII. Peso Volumétrico Suelto (Arena de relave)

Peso Volumétrico Suelto (PVS)		
PS1	5.7	Kg
PS2	5.65	Kg
PS3	5.6	Kg
PSProm	**5.65**	**Kg**

Fuente: Mendoza, J., 2017

$$PVS = \frac{(PSProm - Peso\ Recip)\ Kg}{Volumen\ (m^3)}$$

$$PVS = \frac{(5.65 - 1.6)\ Kg}{0.002831\ (m^3)}$$

$$\boldsymbol{PVS = 1430,59\ \ {Kg}/{m^3}}$$

Tabla IX. Peso Volumétrico Varillado (Arena de relave)

Peso Volumétrico VARILLADO (PVV)		
PV1	6.3	Kg
PV2	6.2	Kg
PV3	6.25	Kg
PVProm	**6.25**	**Kg**

Fuente: Mendoza, J., 2017

$$PVV = \frac{(PVProm - Peso\ Recip)\ Kg}{Volumen\ (m^3)}$$

$$PVV = \frac{(6.25 - 1.6)\ Kg}{0.002831\ (m^3)}$$

$$\boldsymbol{PVV = 1642,53\ \ {Kg}/{m^3}}$$

Gravedad Específica y Absorción

1. $Ma = Mmw - (Mm + B)g$
2. $Ma(Agua\ añadida\ Matraz) = 295.70\ g$
3. $Mm\ (Masa\ del\ Matraz) = 185.5\ g$
4. $Mmw\ (Matraz + Agua + Muestra) = 981.2g$
5. $B(Msss) = 500\ g$
6. $A(Mseca) = 638.1 - 146.4 = 491.7\ g$

Fórmulas

$$Gesp = \frac{B}{500 - Ma} \qquad Gesp = \frac{500}{500 - 295.7} \qquad \boldsymbol{Gesp = 2.44g}$$

$$ABS = \left(\frac{B - A}{A}\right) * 100\% \qquad ABS = \left(\frac{500 - 491.7}{491.7}\right) * 100\%$$

$$\boldsymbol{ABS = 1.69\%}$$

3.1.6 Resultados de los ensayos peso volumétrico, gravedad específica y absorción de la arena silícea y arena de relave

Peso volumétrico

Tabla X. Peso Volumétrico Suelto (Mezcla de Arena Silícea y Arena de Relave)

Peso Volumétrico Suelto (PVS)		
PS1	5.95	Kg
PS2	6	Kg
PS3	6	Kg
PS Prom	5.98	Kg

Fuente: Mendoza, J., 2017

$$PVS = \frac{(5.98 - 1.6)\ Kg}{0.002831\ (m^3)}$$

$$\boldsymbol{PVS = 1548,33\ \ {Kg}/{m^3}}$$

Tabla XI. Peso Volumétrico VARILLADO (Mezcla de Arena Silícea y Arena de Relave)

Peso Volumétrico VARILLADO (PVV)	
PV1	6.6 Kg
PV2	6.55 Kg
PV3	6.65 Kg
PV Prom	6.6 Kg

Fuente: Mendoza, J., 2017

$$PVV = \frac{(6.6 - 1.6)\ Kg}{0.002831\ (m^3)}$$

$$\boldsymbol{PVV = 1766,16\ \ {Kg}/{m^3}}$$

Gravedad específica y absorción

1. $Ma = Mmw - (Mm + B)g$
2. $Ma(Agua\ añadida\ Matraz) = 300.1\ g$
3. $Mm\ (Masa\ del\ Matraz) = 185.5\ g$
4. $Mmw\ (Matraz + Agua + Muestra) = 985.6g$
5. $B(Msss) = 500\ g$
6. $A(Mseca) = 638.4 - 157.6 = 480.8\ g$

$$Gesp = \frac{500}{500 - 300.1} \qquad \boldsymbol{Gesp = 2.50g}$$

$$ABS = \left(\frac{500 - 480.8}{480.8}\right) * 100\% \qquad \boldsymbol{ABS = 3.99\%}$$

3.1.7 Resultados del módulo de rotura y resistencia de rotura de las baldosas hidráulicas

Tabla XII. Resultados del Módulo de Rotura y Resistencia de Rotura de las Baldosas Hidráulicas

Análisis de Flexión de Baldosas Hidráulicas								
Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Lectura(lbF)	Lectura (N)	P (N)	Observación	Módulo de Rotura
FICT-BH-5-01	200	200	17	27	120,1	1293,30093	Completa	4,9
FICT-BH-5-02	200	200	17	27	120,1	1293,30093	Completa	4,9
FICT-BH-5-03	200	200	16	24	106,8	1149,60082	Completa	5,0
FICT-BH-5-04	200	201	17	28	124,6	1341,20096	Filo Roto	5,1
FICT-BH-5-05	200	200	20	37	164,6	1772,30127	Filo Roto	4,9
FICT-BH-5-06	200	200	17	27	120,1	1293,30093	Completa	4,9
FICT-BH-6-01	200	198	17	23	102,3	1101,70079	Completa	4,2
FICT-BH-6-02	201	201	19	23	102,3	1101,70079	Completa	3,3
FICT-BH-4-01	201	201	17	17	75,6	814,300583	Completa	3,1

Fuente: Mendoza, J., 2017

Datos:

Tabla XIII. Datos del Módulo de Rotura

P	Carga (N)	
L	Luz entre Baldosas (mm)	147
b	ancho (mm)	
h	espesor (mm)	
S	resistencia a la rotura	

Fuente: Mendoza, J., 2017

Fórmulas

Módulo de Rotura $$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Resistencia a la Rotura $$S = \frac{PL}{b}$$

3.2 DISCUSIÓN

Se puede observar que los resultados del ensayo granulométrico de la arena de relave tuvieron un F80=210 que significa que el 80% de la muestra pasa por la abertura de esa malla que quiere decir que se trata de una arena fina. Por lo que fue necesario realizar otro ensayo granulométrico llamado ensayo granulométrico del agregado fino donde se obtuvo como resultado un módulo de finura de 3% y que cumple con los límites del ensayo donde el valor obtenido debe estar entre 2,7% a 3,5%. Si se obtiene un valor por debajo de estos límites ocasionaría un aumento de consumo de cemento y a su vez si resultara por encima del valor límite lo que se obtendría son mezclas de concreto mucho más ásperas. De la misma manera se le realizó el ensayo a la arena silícea la cual se utilizó en la mezcla de la capa 3 de la baldosa hidráulica y se obtuvo el mismo valor del 3% por lo que no alteraba la muestra y más bien se ganaría mayor rigidez en la capa 3.

Con respecto a los ensayos de peso volumétrico suelto y varillado, de gravedad específica y de absorción; la arena de relave en peso volumétrico tiene valores menores en relación a la mezcla entre la arena silícea y arena de relave mientras que los valores de gravedad específica son similares, los valores de absorción entre ambas arenas mantienen una diferencia de 2,3% siendo la mezcla

entre arena silícea y arena relave la de mayor (%) de absorción pero no afecta a la mezcla entre cemento y arena de relave de la capa 2 de la baldosa hidráulica ya que la función de la mezcla en la capa 2 es absorber la humedad que se genera en la capa 1.

Para la determinación del módulo de rotura de las baldosas hidráulicas nos basamos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 652:2000 BALDOSAS- CERÁMICAS. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y RESISTENCIA DE ROTURA y en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 660:1992-02 BALDOSAS DE HORMIGÓN. ENSAYO DE FLEXIÓN. Las cuales tienen como valor referencial de 5 el módulo de rotura haciendo el ensayo con el acabado de la baldosa hacia arriba, donde aplicando los parámetros que dicta la Norma se obtuvo en las baldosas hidráulicas fabricadas valores que oscilan entre 4,9 y 5,1.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El valor calculado del módulo de rotura de las Baldosas Hidráulicas que se fabricaron oscilan en valores entre 4,9 y 5,1; las mismas que fueron colocadas al momento de realizarle la prueba con el acabado hacia arriba y el módulo de rotura referencial de la Norma 660 es de **5** por lo que se concluye que los valores obtenidos están dentro del valor permitido por la Norma NTE INEN 660:1992-02.

La dosificación que se utilizó en los ensayos varían de acuerdo a la cantidad de arena y cemento entre las capas; la utilizada para la fabricación ha sido la más óptima ya que los valores obtenidos están dentro los parámetros normales dispuestos por la Norma Ecuatoriana con respecto a la fabricación de baldosas hidráulicas.

La arena de relave tiene un F80= 210. Lo que efectivamente se conoce como un agregado fino.

Las arenas de relaves pueden ser utilizadas como agregado fino para la fabricación de baldosas hidráulicas, pero antes es necesario realizarle una evaluación física ya que la composición varía.

4.2 Recomendaciones

Las arenas de relaves la mayor parte del tiempo están en un medio húmedo esto ocasiona que el proceso de secado se prolongue por

varios días, por lo que se recomienda mantenerlo en un lugar donde se pueda secar al ambiente ya que esto ayudará a obtener mejores resultados en los análisis a los que son sometidas estas arenas.

El molde utilizado fue fabricado con aluminio y zinc fundido lo que al ser sometido a fuerzas de compresión tendió a deformarse por lo que se recomienda que sea necesariamente de hierro fundido en su totalidad y así mismo se debe mejorar el diseño ya que eso ayuda a mejorar la maniobrabilidad en su uso.

El tiempo que se toma en realizar una baldosa hidráulica es corto, pero se recomienda tener listo los materiales para las mezclas que se usan en cada capa al realizar esto se mejora la calidad de la baldosa.

Es necesario no retirar de inmediato la baldosa del molde ya que puede generar agrietamiento por lo que se recomienda mantenerla unos minutos en el molde para luego ser retirada.

Se debe respetar los tiempos de secado y de fraguado de la baldosa ya que ayuda a conseguir los valores de resistencia que pide la Norma, por lo que se recomienda luego de fabricar la baldosa dejar 24 horas en temperatura ambiente y de manera vertical a la baldosa y luego sumergir en agua por 72 horas; luego de ese tiempo se deben dejar secar por 7 días. Para volver a sumergirlas en agua por

24 horas y con todo este procedimiento poder realizar el ensayo de módulo de rotura.

ANEXOS

ANEXO A

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

"ING. RAÚL MARURI DÍAZ"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Referencias: AASHTO T-87, T-88; ASTM D421-85(2007), D422-63(2007)

Proyecto: GRANULOMETRIA BALDOSAS PLANAS Fecha: 17-01-2017

Localización: PUCE ENTRADA Código Muestra: CC1-R

Coord. UTM. Datum, Zona: Descripción: RELAVE DE FLOTACION PLANTA LA GUAYE

X: Y: Profundidad: SUPERFICIE

Peso Inicial : 300 gr.

# Tamiz	Abertura [mm]	Peso parcial [gr]. (1)	% Retenido (3)=((1)+(2))x100	% Retenido acumulado (4)= Σ(3)	% Pasante acumulado (5)=100-(4)	Especificaciones
3"	75,00					
2"	50,00					
1 1/2"	38,10					
1"	25,00					
3/4"	19,00					
1/2"	12,50					
3/8"	9,50					
1/4"	6,30					
No. 4	4,750					
No. 6	3,350					
No. 8	2,360					
No. 10	2,000					
No. 12	1,700					
No. 16	1,180					
No. 20	0,850					
No. 30	0,600					
No. 40	0,425					
No. 50	0,300	23.7	7.966	7.966	92.034	
No. 60	0,250					
No. 80	0,180	78.7	25.782	33.751	66.249	
No. 100	0,150	40.1	13.479	47.23	52.77	
No. 120	0,125	37.4	12.571	59.801	40.199	
No. 140	0,106	26.7	8.975	68.776	31.224	
No. 170	0,090	26.0	8.739	77.515	22.485	
No. 200	0,075	16.9	5.681	83.196	16.804	
Fondo		50.0	16.804	100.00		
Total (2)		298,5				

Observaciones:

Prueba por: Cálculo por:

Laboratorista

Profesor de Mecánica de Suelos

Elaborado por : Carlos Azúa
Vto. Bueno : Ing. Julio García

BIBLIOGRAFÍA

Degerforserstr., A. M. (1982-2012). *Climate-Data.Org. AM Online Projects*. Retrieved from AM Online Projects 4774229 Oedheim USt-IdNR: DE279133320: https://es.climate-data.org/location/1044431/

INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1990). *Baldosas de hormigón. Ensayo de flexión.* Quito: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 660:1992-02.

INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1998). *Baldosas - Cerámicas. Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la rotura.* Quito: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 652:2000.

Institu Promoció Ceràmica. (1985, Enero). *Baldosa Hidráulica.* Retrieved from http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/los_materiales/pav_hidraulico.html

Jaramillo, Efren;. (2014). *Informe de Actividades y Producción.* Cía ORENAS S.A., Ponce Enriquez.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). *Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification.* Hydrol. Earth Syst. Sci. 11: 1633–1644. Doi: 10.5194/hess-11-1633-2007. ISSN 1027-5606.

Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). *Sistema de Información Científica Redalyc.* Retrieved from Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal:

http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619984010

Wiesner, I. (2017, Enero). Diseño del molde para los mosaicos hidráulicos. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Litoral.