

**OBTENCIÓN DE UN MORTERO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE COLAS
DEL BENEFICIO GRAVIMÉTRICO DEL ORO**

**SERGIO ALBERTO SUAREZ CASTRO
RONALD LEANDRO TARAZONA PEÑARANDA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2013**

**OBTENCIÓN DE UN MORTERO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE COLAS
DEL BENEFICIO GRAVIMÉTRICO DEL ORO**

**SERGIO ALBERTO SUAREZ CASTRO
RONALD LEANDRO TARAZONA PEÑARANDA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE:
INGENIERO METALÚRGICO**

**DIRECTOR:
Prof. WALTER PARDAVE LIVIA
INGENIERO METALÚRGICO, MSc**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2013**

Ante todo quiero dar gracias a Dios por sus bendiciones y darme la oportunidad de realizar este trabajo en el que demuestro mis conocimientos, con el fin de poder brindar alternativas para poder mejorar aspectos en la cotidianidad de las personas. También agradezco a las personas que me han acompañado en este proceso y quiero resaltar a una de ellas, mi padre MIGUEL ANGEL SUAREZ CEPEDA por brindarme su apoyo moral y económico en el proceso de preparación como profesional y ante todo es su ánimo para seguir cada día adelante.

A mi hermano MIGUEL ANDRES SUAREZ CASTRO por brindarme su apoyo moral incondicional y darme sus consejos para conseguir mis objetivos profesionales.

A mi novia NANCY LILIANA GALEANO ZUÑIGA por estar a mi lado en los momentos difíciles en todo este proceso y darme una voz de aliento.

A mi abuela, tíos por darme un apoyo moral y económico el cual fue fundamental para ir forjando mi camino como un excelente profesional que le sirva a la sociedad.

SERGIO ALBERTO SUAREZ CASTRO.

Principalmente quiero dar gracias al Altísimo por sus bendiciones, permitiéndome realizar mis sueños y darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios para lograr ser un excelente profesional, ingeniando soluciones a las problemáticas sociales e industriales de nuestra sociedad. También agradezco a las personas que me han acompañado en este proceso y quiero resaltar a una de ellas, mi padre PEDRO PABLO TARAZONA ACOSTA, por brindarme su apoyo moral y económico de manera incondicional, en mi preparación como profesional.

A mi madre DIGNA MARIA PEÑARANDA CAMARGO por su confianza y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida y ante todo por enseñarme los valores y cualidades necesarias para afrontar todos los problemas que se cruzan por mi camino.

A mis hermanos PEDRO NEL TARAZONA PEÑARANDA y EMER ALEXIS TARAZONA PEÑARANDA por apoyarme, escucharme y regalarme tantos consejos en el transcurso de mi vida, también por ser el eje de respeto, responsabilidad y modelo de superación a seguir.

A mi novia YESICA PAOLA MALAVER VEGA por acompañarme en todos los momentos y situaciones difíciles vividas en el recorrido universitario, y por darme siempre una voz de aliento para seguir adelante.

RONALD LEANDRO TARAZONA PEÑARANDA.

Para todas las personas e instituciones que participaron en la realización de este proyecto de investigación los autores de manera conjunta queremos agradecer por su apoyo intelectual y material a:

- UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- MINERA REINA DE ORO LTDA, Provedora de mineral con la cual se basó esta investigación por brindarnos la oportunidad de realizar el respectivo estudio.
- WALTER PARDAVÉ LIVIA, Ingeniero Metalúrgico M.Sc. Director de la Investigación por su apoyo y colaboración en la realización de este proyecto y por sus grandes aportes intelectuales.
- JAIRO HERNANDEZ SALAZAR, Técnico del Laboratorio de Materiales por su asesoría y colaboración a lo largo de la investigación.
- AMBROSIO CARRILLO CARRILLO, Técnico del Laboratorio de Materiales por su guía y asesoría en el transcurso de este proyecto.
- CARLOS ALBERTO RÍOS REYES, Director Microscopia-SEM, Parque Tecnológico Guatiguará, Universidad Industrial de Santander.
- JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ, Director rayos X, Parque Tecnológico Guatiguará, Universidad Industrial de Santander.
- A todas las personas que directa o indirectamente apoyaron e hicieron aportes para la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	17
OBJETIVOS	18
1. MARCO TEÓRICO.....	19
1.1. LIBERACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS.....	19
1.1.1. Mesa Wilfley:.....	19
1.2. MORTERO DE CONSTRUCCIÓN	21
1.2.1. Propiedades del mortero en estado plástico:.....	22
1.2.2. Propiedades del mortero en estado endurecido:	22
1.2.3. Clasificación delos morteros:.....	23
1.2.4. Normas ASTM para morteros de construcción:	24
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	25
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MINERAL DE ORO)	26
2.2. PRUEBAS PRELIMINARES CONCENTRACIÓN EN MESA WILFLEY.....	26
2.2.1. Obtención de la Muestra:	26
2.2.2. Trituración gruesa:	26
2.2.3. Trituración fina:	27
2.2.4. Molienda:	27
2.2.5. Tamizado:	27
2.2.6. Concentración en Mesa Wilfley:	27
2.2.7. Determinación de las variables fijas y los niveles para el diseño experimental a partir de las pruebas preliminares:.....	27
2.2.8. Caracterización de las colas obtenidas del beneficio gravimétrico de un mineral de Oro:	28
2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS DE CONCENTRACION	28
2.3.1. Requerimientos mínimos para llevar a cabo la parte experimental:.....	29
2.3.2. Selección de variables:	29
2.4. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE MORTERO	30
2.4.1. Caracterización de los materiales empleados:	30

2.4.2. Diseño de mezcla:.....	32
2.5. COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL MORTERO: PRUEBAS DE LABORATORIO.....	33
3. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	34
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE ORO.....	34
3.2. PRUEBAS PRELIMINARES.....	35
3.2.1. Caracterización de las Colas de Oro:	35
3.3. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES FIJAS Y LOS NIVELES PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL A PARTIR DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES.....	38
3.3.1. Determinación de los niveles para el diámetro de partícula:.....	40
3.3.2. Determinación de los niveles para el ángulo de inclinación:	41
3.3.3. Determinación de los niveles para el flujo de agua:.....	42
3.3.4. Determinación de los niveles para el ciclo de pulsación	43
3.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL MORTERO OBTENIDO.....	44
3.4.1. Ensayo de Compresión:	44
3.4.2. Ensayo de Tracción:.....	46
3.4.3. Ensayo de Flexión:.....	48
3.4.4. Ensayo de Porosidad:	50
3.4.5. Ensayo de permeabilidad:	51
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de morteros.....	23
Tabla 2. Peso de Colas y elementos pesados en las Colas de la etapa Scavenger en pruebas preliminares.	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Trituradora de mandíbulas. Figura 2. Trituradora de cono.	19
Figura 3. Mesa Wilfley.	20
Figura 4. Diagrama de flujo del Desarrollo Experimental.	25
Figura 5. Serie de tamices (Tyler)	31
Figura 6. Granulometría del mineral de Oro.	35
Figura 7. Difractograma obtenido de la prueba de DRX realizado a las Colas de Oro.	36
Figura 8. SEM-EDS de colas de oro del distrito de Vetas –Santander.	37
Figura 9. Diámetro de partícula vs. Porcentaje de pesados.	41
Figura 10. Angulo de inclinación de la mesa vs. Porcentaje de pesados.	42
Figura 11. Flujo de agua vs. Porcentaje de pesados.	42
Figura 12. Ciclo de pulsación vs. Porcentaje de pesados.	43
Figura 13. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo.	44
Figura 14. Falla de probetas con 40% de colas en arena.	45
Figura 15. Deterioro de probetas con 60% de colas en arena.	46
Figura 16. Probetas para ensayo de tracción.....	46
Figura 17. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo.....	47
Figura 18. Falla de probetas con 40% de colas en arena.	48
Figura 19. Falla de probetas con 40% de colas en arena.	49
Figura 20. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo.....	49
Figura 21. Valores de porosidad.	51
Figura 22. Valores de permeabilidad.	52

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A.....	61
ANEXO B.....	63
ANEXO C.....	67
ANEXO D.....	71
ANEXO E.....	72
ANEXO F.....	74
ANEXO G.....	82
ANEXO H.....	85
ANEXO I.....	87

RESUMEN

TITULO:

OBTENCIÓN DE UN MORTERO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE COLAS DEL BENEFICIO GRAVIMÉTRICO DEL ORO.*

AUTORES:

SERGIO ALBERTO SUAREZ CASTRO
RONALD LEANDRO TARAZONA PEÑARANDA**

PALABRAS CLAVES:

Pasivo ambiental, concentración, corrientes laminares, colas de un mineral de sulfuro de hierro con menas de oro, relaves, mortero de cemento, agregado, propiedades físico-mecánicas.

DESCRIPCIÓN:

La concentración de minerales como el oro, actualmente se realiza por medios mecánicos, como es el caso de la concentración gravimétrica del oro por medio de la mesa Wilfley, generando residuos contaminantes que representan pasivos ambientales (Relaves-Colas de Oro). Inicialmente se realiza un proceso de conminución al mineral y luego se caracteriza el mineral por medio de un análisis de Espectroscopia de Fluorescencia Rayos X (FRX) y un Ensayo al Fuego, continuando con la concentración gravimétrica del oro por medio de la mesa Wilfley, posteriormente se realizó la obtención de relaves (CO) que pueden ser reciclados como agregado fino en sustitución de la arena, en la fabricación de mortero para la construcción. Después se realizó la caracterización de los relaves (CO), por medio de un análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), para finalizar se prepararon mezclas de mortero para diferentes porcentajes de relaves (CO) en arena, luego se fallaron buscando determinar su resistencia a la compresión, flexión, tracción, además su comportamiento poroso, permeable y su capacidad toxica para compararlos con un diseño de mortero normal sin relaves. Los resultados mostraron un comportamiento favorable del mortero elaborado con CO, implicando ser muy ventajoso no solo para las características finales del material; siempre y cuando se manejen las dosificaciones adecuadas para el diámetro de partícula escogido, sino también para el medio ambiente como tal.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: WALTER PARDAVÉ LIVIA.

SUMMARY

TITLE:

OBTAINING A CONSTRUCTION MORTAR TO LEAVE OF LINES OF THE GRAVIMETRIC BENEFIT OF THE GOLD.*

AUTHORS:

SERGIO ALBERTO SUAREZ CASTRO
RONALD LEANDRO TARAZONA PEÑARANDA**

KEY WORDS:

Passive environmental, concentration, laminar streams, lines of a mineral iron sulfide by gold ores, tailings, cement mortar, attaché, physical-mechanical properties.

DESCRIPTION:

The concentration of minerals such as gold, is currently carried out by mechanical means, such as gravity concentration of gold through the Wilfley table generating contaminating residues representing environmental liabilities (tailings-Lines Gold). Initially takes the ore conminution process, and then the mineral is characterized by an analysis of X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) and a Fire Assay, continuing the gold gravity concentration using the Wilfley table, subsequently obtaining performed tailings (CO) which can be recycled as fine aggregate in place of sand in manufacturing mortar for construction. Then performed the characterization of the tailings (CO), through an analysis of X-ray Diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), finishing mortar mixes were prepared for different percentages of tailings (CO) in sand, then searching failed their resistance to compression, bending, tension, and their behavior porous permeable toxic and its ability to compare a standard design without mortar tailings. The results showed a favorable behavior of the mortar produced with CO, involving very advantageous not only for the final characteristics of the material, as long as suitable dosages are managed for the chosen particle diameter but also for the environment as such.

* Work of degree

** Faculty of Physical-Chemistry Engineerings. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: WALTER PARDAVÉ LIVIA.

INTRODUCCION

Toda actividad minera es realizada para la obtención de minerales valiosos, para esto se requieren ciertos procesos industriales y metalúrgicos, los cuales generan gran cantidad de contaminantes como los residuos sólidos (Relaves), de los cuales los más importantes en términos de volumen son los estériles y desechos de procesamiento, como es el caso de las colas del beneficio gravimétrico de menas de oro, por lo cual es importante darle una aplicabilidad a estos desechos, para evitar una disposición de dichos sólidos en escombreras, representándonos un pasivo ambiental. Para evitar esta contaminación existen entidades de control de residuos ambientales las cuales exigen prácticas para el manejo de residuos sólidos en la industria, actualmente, debido a las presiones ambientales ejercidas en algunas empresas de minería, estas están empleando alternativas de utilización de residuos, las cuales están encaminadas: a la minimización y el aprovechamiento de residuos, y también al tratamiento y disposición final de los residuos. No es un secreto que para toda empresa es fundamental la disminución de costos, por eso siempre ha existido un interés en minimizar la relación estéril/mineral, puesto que a menor cantidad de estéril, mayor eficacia en el proceso y menor presencia de agentes contaminantes en el mineral, ayudando a que aumente la recuperación del mineral en el proceso de beneficio. Los desechos pueden ser objeto de disposición superficial, subterránea o subacuática, este último método ha sido condenado por razones ambientales debido a los impactos negativos que provoca a los ecosistemas acuáticos.

Una posible solución a esta problemática se obtiene por métodos experimentales, cuando se observa en la pulpa de los relaves una fracción arenosa que es posible utilizarla como material de construcción, específicamente como aditivo en morteros para la obtención de ladrillos de construcción, variando los porcentajes de arena en la mezcla y reemplazándola por nuestro relave, en general, cualquier aplicación que conlleve a un nuevo uso de los desechos es favorable. Estos poseen un valor intrínseco en su capacidad de ser nuevamente utilizados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Obtener un mortero de construcción a partir de colas o relaves del beneficio gravimétrico de un mineral aurífero de la zona de Vetás (Santander).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar química, física y mineralógicamente las colas del beneficio gravimétrico de un mineral aurífero de la zona de Vetás (Santander).
- Seleccionar variables operativas del beneficio gravimétrico de un mineral aurífero con la finalidad de obtener concentrado de aurífero de mayor pureza.
- Obtener a nivel de laboratorio un mortero que cumpla con las concentraciones y propiedades mecánicas establecidas en las normas NTC220, NTC120 y NTC119, con las mezclas adecuadas.
- Elaborar un ladrillo con las medidas estandarizadas en las normas NTC 4024 y NTC 4026.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. LIBERACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS

Es la primera etapa mecánica en el proceso de conminución, cuyo principal objetivo es la liberación de las especies valiosas. Generalmente se utiliza para reducir rocas cuyo tamaño puede ser de 1.5 m, hasta obtener partículas hasta de 0.5 cm, lo que se puede realizar en múltiples etapas a las que se les denomina: ^[1]

- Trituración primaria: reducción de partícula de 1-1.5cm, se realiza por medio de la trituradora de mandíbulas, ver Figura 1.
- Trituración secundaria: reducción de partícula menor a 30 malla Tyler, se realiza por medio de la trituradora de cono, ver Figura 2.
- Molienda: reducción de partícula menor a 120 malla Tyler.

Figura 1. Trituradora de mandíbulas.



Figura 2. Trituradora de cono.



Fuente: Laboratorio Geología UIS. Fuente: Escuela Ing. Metalurgica UIS.

1.1.1. Mesa Wilfley:

La mesa Wilfley es un equipo que separa relativamente fácil minerales pesados de minerales ligeros. ^[2] Esto permite descartar hasta un 85% del material original en el que no se encontrarán minerales pesados. Esta mesa aprovecha la densidad

de los minerales para separarlos mediante un flujo de agua con un comportamiento laminar. La mesa Wilfley presenta un movimiento cíclico: un movimiento horizontal paralelo al flujo de agua y un movimiento brusco contrario al flujo del agua, lo que provoca que los minerales más pesados se separen del resto.^[3]

Figura 3. Mesa Wilfley.



Fuente: Escuela Ing. Metalurgica UIS.

Movimiento de las partículas: La muestra se vierte en la mesa por medio de un alimentador de vibración variable que lo dosifica. Esta, al caer en el flujo de agua laminar, separa los minerales más ligeros, los que describen una trayectoria perpendicular al eje mayor de la mesa. Los minerales con densidades intermedias, al golpear la mesa, flotan siguiendo una trayectoria oblicua y muy cercana a los rizados longitudinales de la mesa. Los minerales pesados no flotan y solo se arrastran con el movimiento de la mesa en dirección del flujo de agua, siguiendo una trayectoria casi paralela al eje mayor de la mesa. Al final se obtiene un concentrado de minerales pesados (Ver Anexo A).^[4]

Criterio de concentración Taggart: Mide la capacidad que tienen dos minerales de separarse en función de la gravedad. Esta dada por la siguiente expresión.^[5]

$$\text{Criterio de concentración de Taggart (C.C)} = \frac{(D_1 - D)}{(D_2 - D)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Dónde: D_1 = peso específico del mineral pesado, D_2 = peso específico del mineral liviano, D = peso específico del fluido, generalmente agua, se asume igual a 1.

- Si C.C es mayor o igual a 2.5, la separación es irrealizable para todos los rangos granulométricos superiores a malla 200.
- Si C.C esta entre 2.5 y 1.75, la separación es efectiva para granulometrías superiores a malla 100.
- Si el C.C esta entre 1.75 y 1.5, la separación es posible para granulometrías superiores a malla 10.
- Si el C.C es menor que 1.25 la separación gravimétrica no es aplicable económicamente.

1.2. MORTERO DE CONSTRUCCIÓN

El mortero es una mezcla plástica de cemento, agua, arena y aditivos, que dependiendo de la dosificación ofrece la trabajabilidad y resistencia suficientes para ser utilizado básicamente en tres aspectos: pega de unidades de mampostería, relleno en mampostería estructural, recubrimiento de muros y eventualmente en pisos cuyas funciones y definiciones se encuentran bastante diferenciadas. ^[3]

Dependiendo de las circunstancias particulares de cada proyecto, el criterio para la selección del mortero se debe basar en las propiedades del mortero en estado plástico o en estado endurecido. Ambas son igualmente importantes y necesarias para lograr un buen resultado final. ^[3]

1.2.1. Propiedades del mortero en estado plástico:

- **Manejabilidad:**

La manejabilidad en los morteros se refiere a la facilidad de colocación de la mezcla, tanto en unidades de mampostería como en recubrimientos; y depende de la consistencia la cual se refiere al estado de fluidez del mortero. ^[6]

De los factores que influyen en la fluidez se puede nombrar los siguientes: relación agua/cemento, relación cemento/arena y granulometría de la arena, entre otros. Los valores de fluidez cambian también de acuerdo con la utilidad del mortero.

Para el proyecto se trabajó con una consistencia media plástica, ideal para pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos. ^[6] (Ver Anexo B).

- **Retención de agua:**

Mide la capacidad del mortero de mantener su plasticidad al ponerse en contacto con una superficie absorbente. ^[6]

La retención del agua incide altamente en la rata de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, es decir, una mezcla incapaz de retener agua no permite la hidratación de los materiales cementantes. ^[6]

- **Velocidad de endurecimiento:**

La hidratación de los materiales cementantes se puede ver afectada por condiciones como el tipo de curado, la humedad de la mezcla o la composición de ésta, factores que producen la mayor parte de la hidratación en las horas iniciales. Una vez evaporada el agua de la mezcla, la hidratación adicional será muy lenta, dependiendo de la humedad ambiental. ^[6]

1.2.2. Propiedades del mortero en estado endurecido:

- **Retracción:**

Hace referencia a los cambios de volumen debidos a las reacciones químicas que ocurren en el momento de la hidratación del cemento y que ocasionan la aparición de grietas, especialmente en aquellas con relaciones altas de agua/cemento. ^[6]

- **Adherencia:**

La adherencia es la capacidad del mortero de soportar cargas normales y tangenciales a la superficie de contacto. ^[6]

- **Resistencia:**

El mortero aplicado debe servir de unión resistente, para lo cual se necesita de alta resistencia a la compresión cuando debe soportar altas cargas y sucesivas. ^[6]

- **Durabilidad:**

En un mortero la durabilidad se refiere a la capacidad de resistir a agentes externos como la temperatura, la penetración del agua, el desgaste por abrasión, la retracción al secado, agentes corrosivos, y ciclos de congelamiento y descongelamiento, sin afectar sus condiciones físico-químicas con el tiempo. ^[6]

1.2.3. Clasificación de los morteros:

Los morteros se clasifican según el tipo de: composición, preparación y función que cumplen. (Ver Anexo B). En la Tabla 1, se puede observar la información de cada tipo de mortero para una clasificación según sus usos y beneficios.

Tabla 1. Clasificación de morteros. ^[7]

CLASIFICACIÓN	TIPO	USOS	BENEFICIOS	INFORMACIÓN
MORTEROS	LECHADA	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivo para facilitar las operaciones de bombeo • Tratamiento de inyección en terrenos permeables 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar taponamientos de tubería • Elevada penetrabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada fluidez • Mezcla estable • Resistencia a la compresión igual o menor a los concretos normales
	MORTERO	<ul style="list-style-type: none"> • Zarpeo y afine • Mampostería • Pegar tabiques • Para relleno de cepas y oquedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad uniforme • Incremento de la productividad • Disminución de desperdicios • Ahorro en mano de obra • Menores necesidades de equipo y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada trabajabilidad • Excelente adhesión • Mejor apariencia y acabado • Resistencia adecuada para su uso
	MORTERO ESTABILIZADO	<ul style="list-style-type: none"> • Zarpeo y afine • Mampostería • Pegar tabiques • Para relleno de cepas y oquedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantiene su estado plástico por tiempo prolongado • Excelente adhesión a superficies verticales • Calidad uniforme • Incremento de la productividad • Disminución de desperdicios • Ahorro en mano de obra • Menores necesidades de equipo y mantenimiento • Planeación más flexible para actividades de obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de fraguado controlado, muy por encima del mortero preparado en obra • Elevada trabajabilidad • Excelente adhesión • Mejor apariencia y acabado • Resistencia adecuada para su uso

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C, 2005

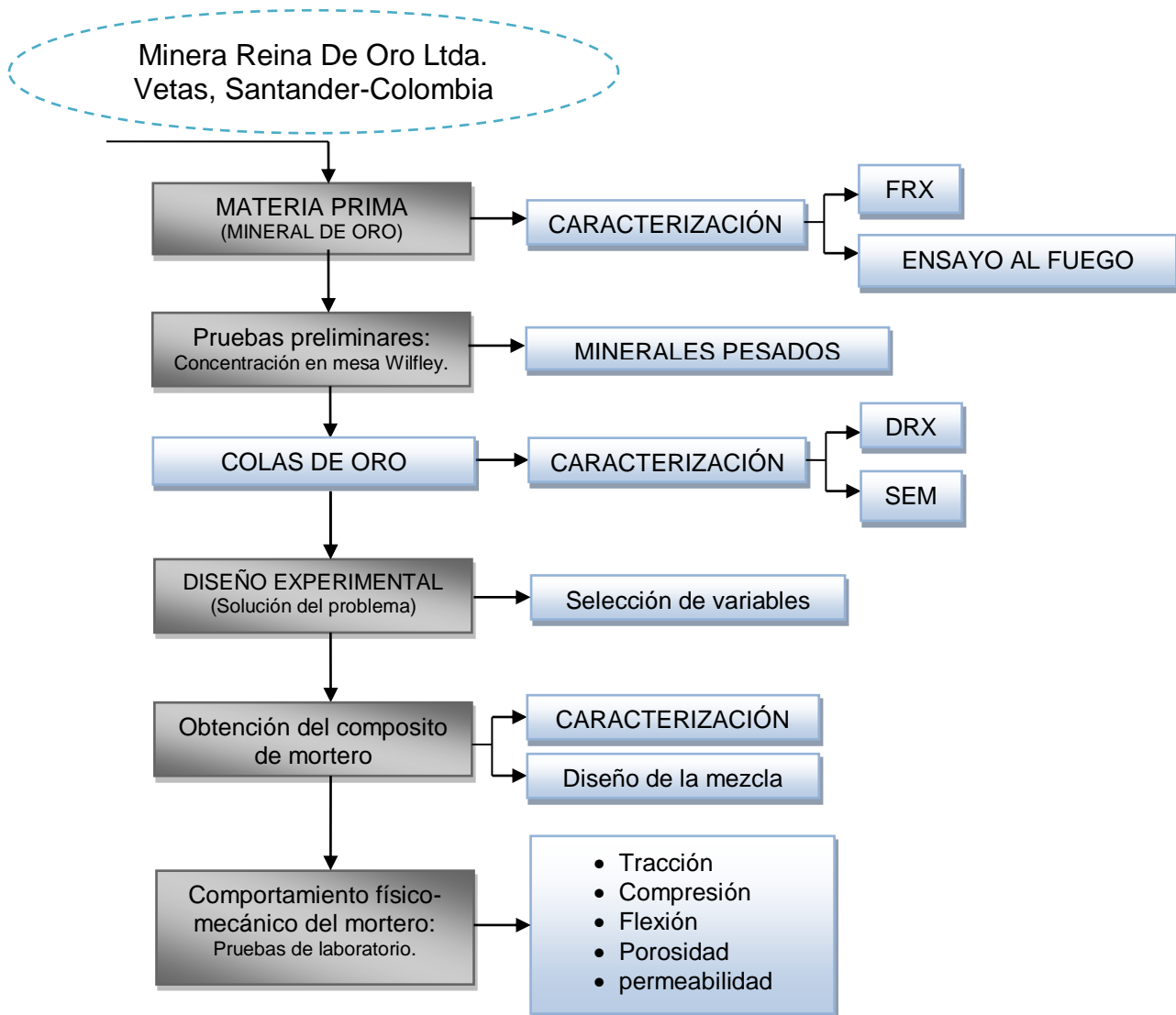
1.2.4. Normas ASTM para morteros de construcción:

- ASTM C144 - 11, Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería.^[8]
- ASTM C1714/C1714M, Especificación para mezcla de mortero seco premezclado para albañilería.^[9]
- ASTM C230/C230M-08, Especificación Estándar para Tabla de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico.^[10]
- ASTM C-305, Práctica estándar para la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.^[11]
- ASTM C-109, Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando 2 pulgadas o [50 mm] Cube muestras).^[12]

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se presenta el desarrollo experimental llevado a cabo, el cual consta de cinco etapas como se ilustra en la figura 4.

Figura 4. Diagrama de flujo del Desarrollo Experimental.



Fuente: autores.

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MINERAL DE ORO)

La caracterización del mineral de Oro (ver Anexo I) se lleva a cabo con el fin de determinar la composición de la muestra empleada para el desarrollo de este trabajo. Para el presente estudio se caracterizó el mineral de Oro realizando 2 tipos de análisis:

- Análisis cuantitativo de Ley de tenores mediante un Ensayo al fuego. (Ver Anexo G).
- Análisis cualitativo y cuantitativo elemental de Espectrometría por Fluorescencia de rayos X. (Ver Anexo G).

2.2. PRUEBAS PRELIMINARES CONCENTRACIÓN EN MESA WILFLEY

Se desarrollaron pruebas preliminares con el propósito de determinar los niveles más adecuados para las variables de entrada utilizadas en el diseño experimental.

Variables utilizadas:

- Flujo de agua de lavado (L/min.)
- Diámetro de partícula (Malla Tyler)
- Ciclo de pulsación (Stroke)
- Angulo de inclinación

Dichas pruebas se realizaron mediante las siguientes etapas:

2.2.1. Obtención de la Muestra:

Se obtuvo el mineral de Oro de la Minera Reina De Oro Ltda. Vetas, Santander-Colombia.

2.2.2. Trituración gruesa:

La trituración se realizó en la trituradora de mandíbula ubicada en el Laboratorio de Materiales de la Escuela de Geología de la UIS. La muestra fue reducida a un tamaño, entre 1-1.5 cm. (Ver Anexo E).

2.2.3. Trituración fina:

Se realizó en la trituradora de cono ubicada en la planta de aceros Álvaro Quiroga Correa de la UIS, donde se obtuvo un tamaño de partícula menor a malla 30 (Tyler). (Ver Anexo E).

2.2.4. Molienda:

El mineral después de triturado, se molió en el molino de bolas ubicado en el laboratorio de la planta de aceros Álvaro Quiroga Correa de la UIS, donde se obtuvo un tamaño de partícula menor a malla 200 (Tyler). (Ver Anexo E).

2.2.5. Tamizado:

Posteriormente la muestra fue tamizada utilizando los tamices 10, 20, 30, 50, 65, 100, 120, 200 malla (Tyler) con el fin de obtener los tamaños de partículas utilizados en las pruebas preliminares de separación en mesa Wilfley.

2.2.6. Concentración en Mesa Wilfley:

La concentración se realizó en mesa Wilfley ubicada en el laboratorio de la planta de aceros Álvaro Quiroga Correa de la UIS. De acuerdo a la revisión bibliográfica se realizaron los ensayos bajo las siguientes condiciones operativas constantes:

- 2 etapas: Rougher y Scavenger: (Ver Anexo E).
- Alimentación: 500 g de mineral.

Los datos obtenidos de peso y porcentaje de minerales pesados de las colas de la etapa Scavenger en las pruebas preliminares se muestran en (Tabla 2 capítulo 3).

2.2.7. Determinación de las variables fijas y los niveles para el diseño experimental a partir de las pruebas preliminares:

Para establecer los valores adecuados a trabajar en el diseño experimental se determinó:

- **Diámetro de Partícula:**

Se realizó la concentración gravimétrica en mesa Wilfley con distintos diámetros de partícula del mineral (-50, -100, -120 mallas). Durante las pruebas se mantuvo

constantes las demás variables: Flujo de agua = 11 L/min.; Angulo= 15°; Ciclo de pulsación= 5; con un peso de alimentación de 500 g del mineral de Oro.

- **Angulo de inclinación:**

Se desarrollaron las pruebas en la mesa Wilfley utilizando diferentes ángulos de inclinación de la mesa (10 °, 15° y 20°); se utilizó una alimentación del mineral de Oro de 500 g, las demás variables se mantuvieron constantes: Flujo de agua = 11 L/min.; ciclo de pulsación=5; y Dp = -100.

- **Flujo de agua:**

Se realizaron pruebas de separación en la mesa Wilfley variando el flujo de agua (7, 11 y 17 L/min.), se alimentaron 500 g de mineral de Oro para cada una de las pruebas, las demás variables se mantuvieron constantes: ciclo de pulsación =5; Dp = -100 y Angulo= 15°.

- **Ciclo de pulsación:**

Para determinar el valor de ciclo de pulsación más adecuado se realizaron pruebas para ciclo de pulsación de 4, 5 y 6 mm, manteniendo constantes el Flujo de agua = 11 L/min.; ángulo de inclinación =15° y diámetro de partícula= -100 malla (Tyler), alimentación de 500 g de mineral de Oro.

2.2.8. Caracterización de las colas obtenidas del beneficio gravimétrico de un mineral de Oro:

La caracterización de las colas de Oro obtenidas, se realizó mediante un análisis cuantitativo por Difracción de rayos X (DRX) y un análisis por microscopia (SEM-EDS) para analizar la morfología de las partículas de las colas obtenidas, para así conocer el porcentaje de los compuestos y fases cristalinas presentes en las colas de Oro en cada una de las pruebas preliminares y constatar el buen procedimiento de la separación gravimétrica.

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS DE CONCENTRACION

Mediante el diseño experimental se planifican racionalmente las experiencias a desarrollar, obteniéndose la información requerida en un número de experimentos

ahorrando tiempo y dinero. El diseño experimental se caracteriza por la manipulación de una o más variables a las cuales se les asignan valores aleatorios para provocar cambios en las variables dependientes.

2.3.1. Requerimientos mínimos para llevar a cabo la parte experimental:

- Homogeneidad del material de alimentación.
- Densidad de pulpa (cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente).

2.3.2. Selección de variables:

Es una de las etapas más importantes del diseño experimental, en donde, se tratan de definir el tipo y las variables a evaluar. Este diseño experimental se basa en el sistema multivariable, que tiene dos tipos de variables: variables de entrada y variables de salida.

✓ Variables de entrada:

Son las variables independientes, es decir son las que se manipulan y, dependiendo de los valores que se le asignen, determinan el valor de otras variables (variables dependientes).

Para el presente estudio se definieron tres variables de entrada a cada una se le asignaron 2 niveles de acuerdo a los resultados de las pruebas preliminares:

- Flujo de agua.
- Granulometría o diámetro de partícula.
- Angulo de inclinación.

✓ Variables de salida:

Son las variables dependientes, es decir, el valor que tomen está determinado por el valor de las variables de entrada. En este estudio nos interesa la concentración de Oro y los elementos pesados en las colas, por lo tanto se define como la variable de salida:

- Concentración de Oro (Au) y elementos pesados en las colas.

2.4. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE MORTERO

2.4.1. Caracterización de los materiales empleados:

Los procedimientos y materiales empleados deben ser controlados por las normas vigentes del país (NTC) y algunas de interés internacional (ASTM), las principales normas a utilizar en la caracterización de los materiales están incluidas a continuación.

✓ **Cemento.**

El cemento utilizado es un cemento hidráulico, encargado de brindar la mayor parte de la resistencia al mortero inicialmente, siendo igualmente el primer agente conglomerante del conjunto.

El cemento utilizado es producido por “Cementos CEMEX”, referenciado como Pórtland Tipo I, en su presentación de 50 Kg. con los siguientes datos:

- | | |
|---|------------------------|
| • Peso Específico (NTC 221) | 2.93 g/cm ³ |
| • Tiempo de fraguado (NTC 118) | 0.58 horas |
| • Consistencia normal del cemento (NTC 110) | 25.15% |

La consistencia del cemento depende de la penetración de Vicat para diferentes porcentajes de agua respecto del peso del cemento, estos datos se muestran en la tabla 1 de anexos. (Ver Anexo C).

✓ **Agua.**

Deberá estar limpia, fresca, y exenta de impurezas perjudiciales tales como aceite, ácidos, álcalis, sales, sedimentos, materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Debe cumplir la norma ASTM C-94.

Por lo general, se recomienda que el agua sea potable, sin un pronunciado olor o sabor, esta se puede usar tanto para mezclas de concreto como de mortero.

Se utilizó agua del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, por lo tanto no se le realizaron análisis químicos, debido a que se considera apropiada para este tipo de mezclas.

✓ **Arena.**

La arena utilizada proviene de los depósitos de las riberas del río Chicamocha, específicamente de la Arenera Chicamocha (Pescadero - Santander). El diámetro de partícula está comprendido entre 0.074 y 0.841 mm. Se hizo la caracterización mediante los siguientes ensayos:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77).
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92). (Ver Anexo C).
- Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros y hormigones (Norma NTC 127). (Ver Anexo C).
- Método para determinar el peso específico y absorción de agregados (norma NTC 237. (Ver Anexo C).

En la Figura 5. Se observa la serie de tamices utilizados para el proyecto según norma NTC 77.

Figura 5. Serie de tamices (Tyler)



Fuente: Escuela Ing. Metalurgica UIS.

Análisis granulométrico de la arena: Se emplearon los siguientes tamices para el análisis granulométrico: No. 4, 8, 16, 20, 30, 50, 100 cumpliendo con la norma NTC 77. (Ver Anexo C).

Ensayo de gravedades específicas, peso unitario y absorción de vacíos para las arenas: Estos ensayos se realizaron por medio de las normas NTC 92 (Método para determinar la masa unitaria de los agregados), y NTC 237 (Método para determinar el peso específico y la absorción de vacíos). (Ver Anexo C).

✓ **Agregado: Colas de Oro.**

Se utilizaron las colas obtenidas de la concentración gravimétrica del Oro en mesa Wilfley de las cuales se escogieron las de menor contenido de Oro y demás elementos pesados con diámetro de partícula pasante en malla 120 (Tyler). Se determinó su peso específico y absorción de vacíos. (Ver Anexo C).

2.4.2. Diseño de mezcla:

Las proporciones en volumen de los diferentes tipos de aglomerantes, o de agregados, que integran un mortero, están establecidas por experiencia artesanal y parámetros de fundamentos teóricos según la norma técnica colombiana NTC 3356, de acuerdo a su uso o lugar de aplicación.

Para el presente trabajo se utilizó una dosificación de 1:3 en peso (Cemento:Arena), el contenido de agua/cemento de 0.65, que permite alcanzar una fluidez correspondiente al estado plástico (100-120%). (Ver Anexo D). Para el presente trabajo, las proporciones del mortero en peso son:

$$0.65: 1: 3 \text{ (A: C: F)} \quad \text{Eq. (1)}$$

A= Agua

C= Cemento

F=Arena

Cálculo del contenido de cemento: Se realiza a partir de la siguiente expresión:

$$C = \frac{1000}{\left[\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_A} + \frac{A}{C} \right]} \quad \text{Eq. (3)}$$

Dónde:

Gc= Peso específico del cemento (2.93 g/ml)

G_A = Densidad aparente seca de la arena (2.5 g/ml)

n= Proporción arena cemento

A/C= Relación Agua/Cemento (0.65)

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$C = \frac{1000}{\left[\frac{1}{2.93} + \frac{3}{2.5} + 0.65 \right]} = 456.35g.$$

Arena= 3 * 456.35 = 1369.05g.

Agua= 0.65 * 456.35 = 296.63ml.

Los anteriores cálculos se obtienen para una cantidad de 1m³ de mortero.

Para la obtención de las proporciones de la mezcla con agregado de colas de mineral de Oro, se reemplazará parte del agregado por este aditivo, cuyo peso específico es 2.77 g/cm³. Las proporciones a reemplazar son: 0, 20, 40 y 60% del volumen total de la arena por partículas del agregado de colas de mineral de Oro pasante en malla 120 (Tyler).

2.5. COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL MORTERO: PRUEBAS DE LABORATORIO

Como parte final del desarrollo experimental de este trabajo se realizaron diversos ensayos de caracterización de acuerdo a las normas NTC del mortero adicionado con agregado de colas de mineral de oro frente a su comportamiento físico mecánico (ver anexo F), como son:

- ✓ Compresión (NTC 220)
- ✓ Flexión (NTC 120)
- ✓ Tracción (NTC 119)
- ✓ Porosidad
- ✓ Permeabilidad

3. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE ORO

La muestra fue triturada y molida hasta un tamaño de partícula menor a malla 120 Tyler; inicialmente se analizó por medio de una prueba cuantitativa de Ensayo al fuego basado en la teoría de Ley de tenores, para determinar el porcentaje en peso de Oro presente en el mineral. Calculando el porcentaje en peso de plata-oro (g/ton Ag-Au) y posteriormente el contenido de Oro presente en la muestra, dando como resultado una ley en el mineral equivalente a Trazas de Oro, significándonos una baja ley de Oro en el mineral. (Ver Anexo G).

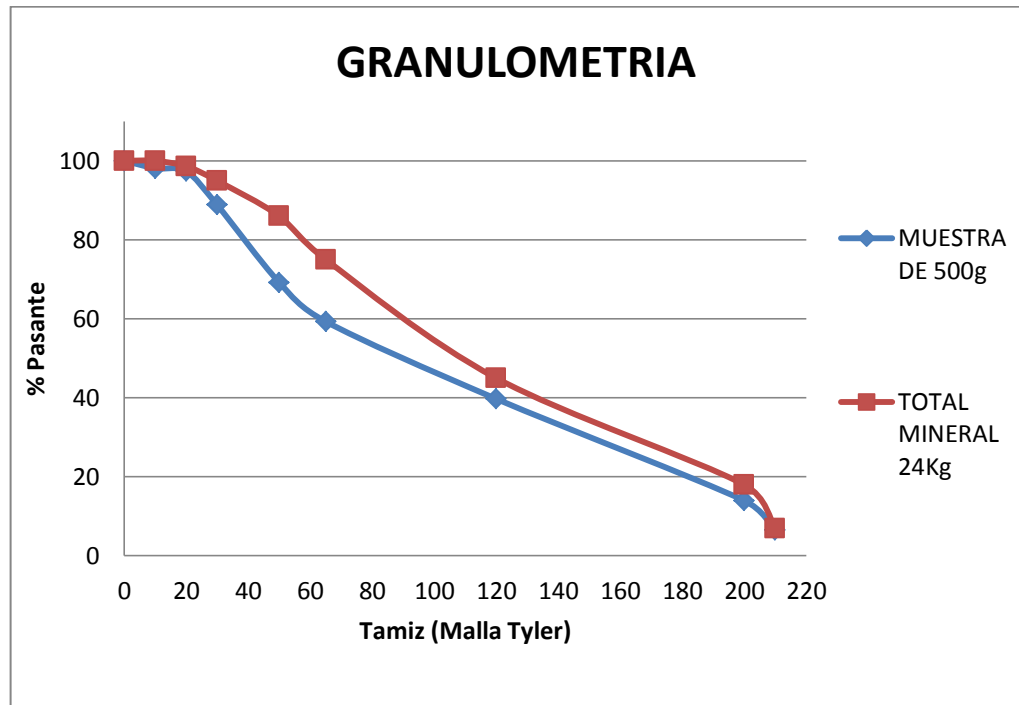
También se realizó un análisis cuantitativo elemental de Espectroscopia (FRX) por Fluorescencia de Rayos X (FRX), para determinar el porcentaje en peso de cada elemento presente en el mineral. Observando que los elementos de mayor porcentaje son: Silicio, Potasio, Aluminio, Hierro y Azufre que representan el 42,55% de la muestra de minera de acuerdo a la Tabla 1 del Anexo G.

Granulometría del mineral de Oro:

Inicialmente se tomó una muestra representativa de mineral triturado y molido de 500g, luego se tamizó con los tamices 10, 20, 30, 50, 65, 100, 120, 200 malla (Tyler), cumpliendo con la norma NTC 77 para el tamizado de materiales granulados y así se logró determinar la granulometría de esta muestra representativa. Posteriormente, para tener un valor exacto de la granulometría de todo el mineral traído de la Minera Reina De Oro Ltda. Vetas, Santander-Colombia, se realizó un proceso de conminución a los 24Kg de mineral y luego se tamizó utilizando los tamices 10, 20, 30, 50, 65, 100, 120, 200 malla (Tyler), cumpliendo con la norma NTC 77 para el tamizado de materiales granulados. (Ver Anexo E). En la Figura 6, se observan los resultados de la granulometría del

mineral de Oro, tanto de la muestra representativa de 500g como para el total de mineral 24Kg suministrados por la empresa Minera Reina De Oro Ltda.

Figura 6. Granulometría del mineral de Oro.



Fuente: autores.

3.2. PRUEBAS PRELIMINARES

3.2.1. Caracterización de las Colas de Oro:

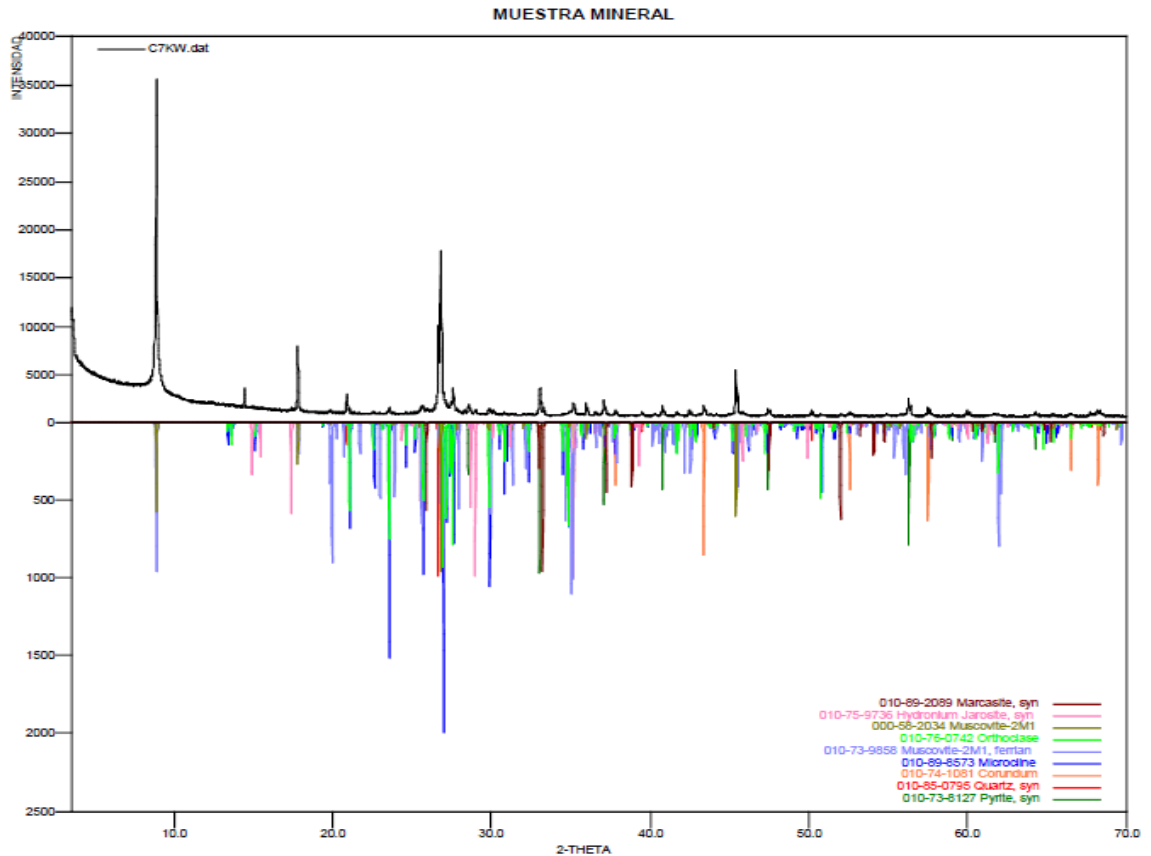
Se analizaron las Colas obtenidas en la etapa Scavenger para cada una de las pruebas preliminares. Se realizó un análisis cuantitativo por Difracción de Rayos X (DRX) y un análisis por microscopia (SEM-EDS) para conocer las morfologías de las colas de acuerdo a las Figuras 1 y Figura 2 (Ver Anexo H).

✓ Difracción de Rayos X (DRX):

Para esta prueba se utilizó una muestra de Colas de mineral aurífero del distrito minero de Vetas-Santander, obtenidas de la concentración gravimétrica por Mesa Wilfley, con el fin de conocer las fases cristalinas presentes en el mineral de colas

obtenidas en la mesa Wilfley y así cuantificar las fases presentes, en la Figura 7 se observa el difractograma de rayos X (DRX).

Figura 7. Difractograma obtenido de la prueba de DRX realizado a las Colas de Oro.



Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos X- Edificio investigación Guatiguará.

En la Figura 7, se puede observar, el porcentaje de las diferentes fases cristalinas presentes en una muestra de Colas de un mineral aurífero del distrito minero de Vetas-Santander, la cual fue sometida a una prueba de DRX y los resultados obtenidos son:

- La Moscovita representando un 32,5% de la muestra, siendo la especie cristalina con mayor porcentaje en las colas.
- La Ortoclasa representando un 13,3% de la muestra.
- El Cuarzo representando un 9,7% de la muestra.

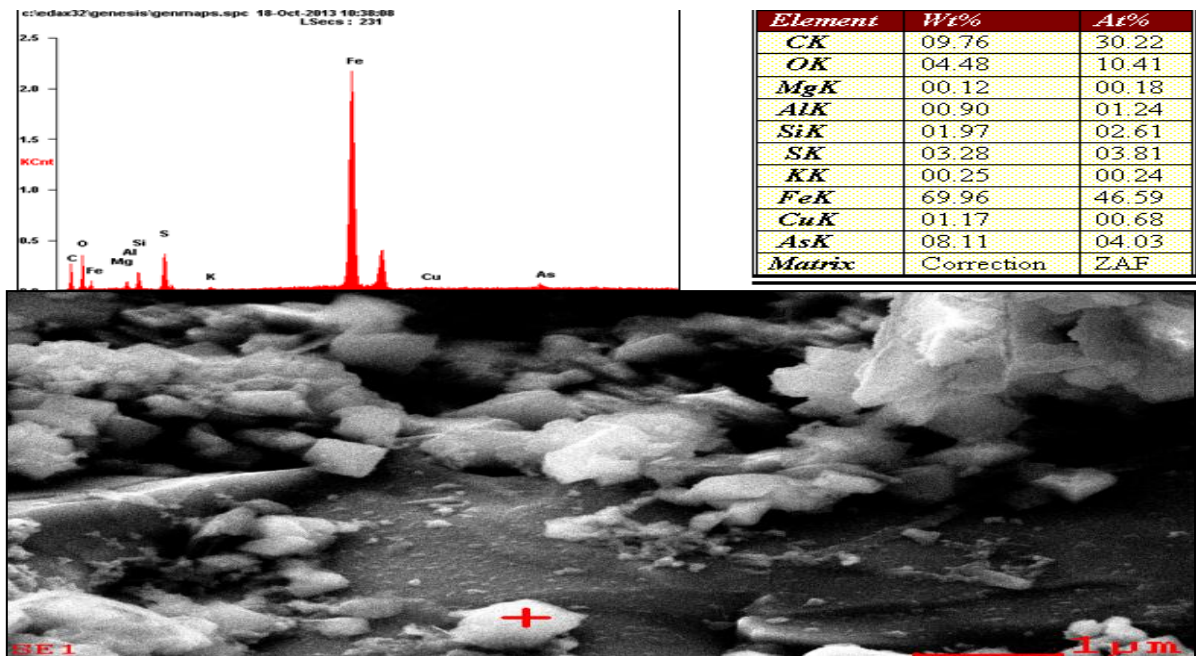
- La Microclina representando un 7,2% de la muestra.
- La Pirita representando un 2,9% de la muestra.
- La Hidrojarosita representando un 1,6% de la muestra.
- La marcasita representando un 1,0% de la muestra.

Se lograron identificar siete fases cristalinas presentes en las colas de Oro, las cuales representan un 68,2% y el restante 31,8 corresponde a elementos amorfos y otros. (Ver Anexo H).

✓ **Microscopia (SEM):**

Para esta prueba se utilizó una muestra de Colas de mineral aurífero del distrito minero de Vetas-Santander, obtenidas de la concentración gravimétrica por Mesa Wilfley, con el fin de definir el tipo de morfología del mineral.

Figura 8. SEM-EDS de colas de oro del distrito de Vetas –Santander.



Fuente: Laboratorio microscopia SEM- Edificio investigación Guatiguará.

Según la Figura 8, se puede observar, una micrografía obtenida después de realizarle una prueba semicuantitativa de SEM-EDS a una muestra de Colas de un mineral aurífero del distrito minero de Vetas-Santander, en donde se obtiene como resultado que en el punto analizado se encuentra la fase cristalina Moscovita, Según la comparación de resultados de difracción de Rayos-X (DRX) y asesoría del técnico de laboratorio de microscopia SEM-EDS Guatiguará. Se anexan la otra micrografía obtenida. Además se observa que la morfología de los granos no tiene una geometría definida y presenta una dispersión de granos finos alrededor de ellos ,producto del rompimiento ocasionado por el molino de bolas por lo tanto se puede aseverar que su morfología es amorfa ver Figura 1 y Figura 2 .(Ver anexo H).

3.3. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES FIJAS Y LOS NIVELES PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL A PARTIR DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES

Analizando los datos que se muestran en la Tabla 2, se puede afirmar que al aumentar el flujo de agua aumenta también el porcentaje de material pesado en las colas, y a su vez aumenta la cantidad de livianos. Esto se debe a que a mayor flujo, las partículas son más fácil y rápidamente arrastradas hacia el extremo de descarga de colas. También se observa que el valor más apropiado a trabajar es el de 11L/min, puesto que en este valor se encuentra la menor cantidad en gramos de elementos pesados en las Colas.

En cuanto al efecto del ángulo de inclinación, se observa que a menor ángulo de inclinación de la mesa, se obtiene menor cantidad de livianos debido a que el agua de lavado se distribuye mejor sobre la superficie de la mesa en el mismo sentido del movimiento del ciclo de pulsación, arrastrado gran parte del mineral hacia el extremo de descarga de pesados. Por el contrario, cuando se aumenta demasiado

el ángulo de inclinación, el mineral es más fácilmente conducido por el flujo de agua hacia el extremo de descarga de livianos obteniéndose mayor cantidad de colas. El porcentaje de elementos pesados en las colas aumenta tanto para ángulos altos como para ángulos bajos. También se observa que el valor más apropiado a trabajar es el de 15°, puesto que a este valor se encuentra la menor cantidad en gramos de elementos pesados en las Colas, como se puede observar en la Tabla 2, Peso de Colas y elementos pesados en las Colas de la etapa Scavenger en pruebas preliminares.

Para analizar el efecto del diámetro de partícula sobre las pruebas, se observa que a mayores diámetros de partícula como el retenido en tamiz 35 (Tyler), se obtienen grandes cantidades de Colas pero a su vez el contenido de elementos pesados es mayor, concluyendo que el mejor valor a trabajar para esta variable es el pasante -120, puesto que a menor diámetro de partícula menor será la cantidad en gramos de elementos pesados en las Colas, como se puede observar en la Tabla 2, Peso de Colas y elementos pesados en las Colas de la etapa Scavenger en pruebas preliminares.

Para analizar el efecto del ciclo de pulsación sobre las pruebas, se observa que a mayores ciclos se obtienen cantidades mayores de colas, esto puede explicarse por el hecho de que un movimiento más rápido de la mesa no permite que las partículas de mineral se distribuyan totalmente sobre los rifles, concluyendo que el mejor valor a trabajar para el ciclo de pulsación es 5mm, puesto que a este valor se encuentra la menor cantidad en gramos de elementos pesados en las Colas, como se puede observar en la Tabla 2, Peso de Colas y elementos pesados en las Colas de la etapa Scavenger en pruebas preliminares.

Tabla 2. Peso de Colas y elementos pesados en las Colas de la etapa Scavenger en pruebas preliminares.

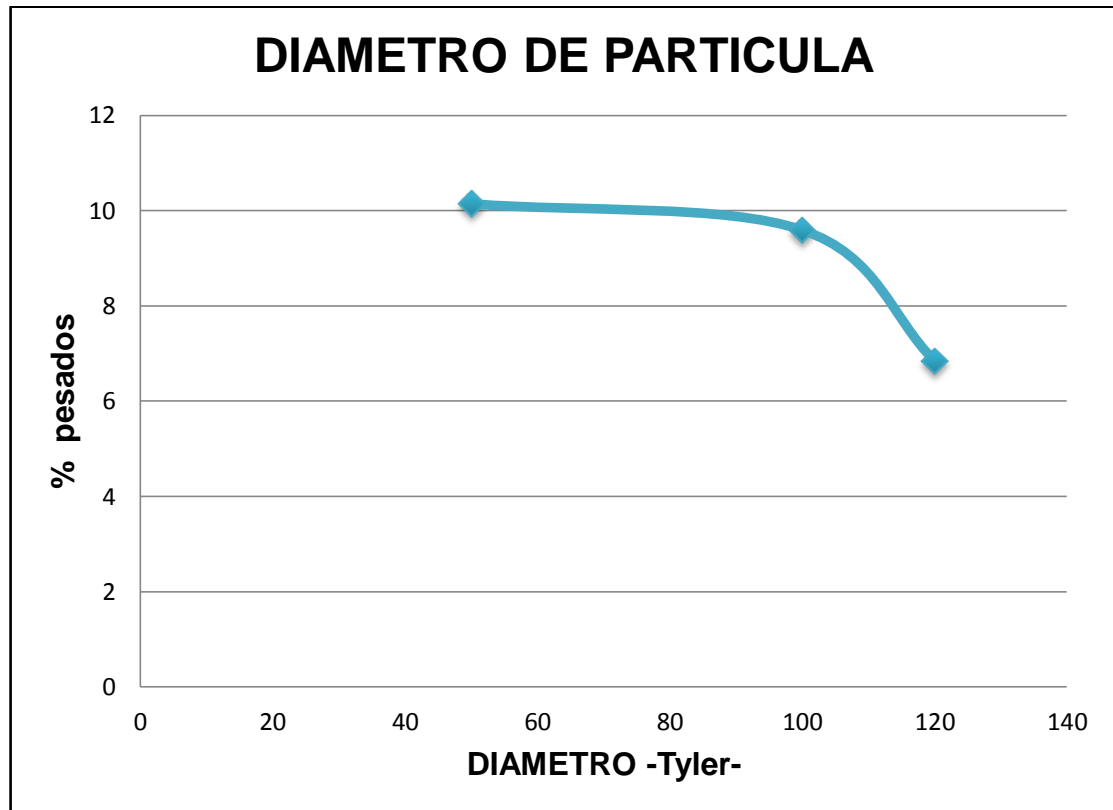
Variables	Valores	Peso de colas (g)	Peso de elementos pesados (g)
Flujo de agua (L/min)	7	303.14	14.23
	11	307.18	8.254
	15	324.87	11.78
	17	360	12,25
Angulo de inclinación(°)	10	6.6	4,15
	15	60.8	2,187
	17	153.24	2.873
	20	244.3	3,684
Diámetro de partícula(malla Tyler)	35	330	11,457
	50	323.6	10.143
	100	310	9,5921
	120	269.5	6,845
Ciclo de pulsación (Stroke)	4	274.2	10,104
	5	308.5	8,8789
	6	318.5	9.38
	7	326.4	10,302

Fuente: Datos obtenidos en ésta investigación.

3.3.1. Determinación de los niveles para el diámetro de partícula:

Puesto que nos interesa obtener colas con el más bajo contenido de elementos pesados, para esto se deben escoger los niveles más apropiados para el diámetro de partícula, en este trabajo se tuvo en cuenta la variación de la concentración con el diámetro de partícula del mineral empleado. En la Figura 9, se puede observar que, los diámetros de partícula más apropiados para trabajar son los comprendida entre -100 y -120 malla (Tyler), debido a que en este rango se retiene el menor porcentaje de elementos pesados, por lo tanto se elige este rango para el diseño experimental.

Figura 9. Diámetro de partícula vs. Porcentaje de pesados.

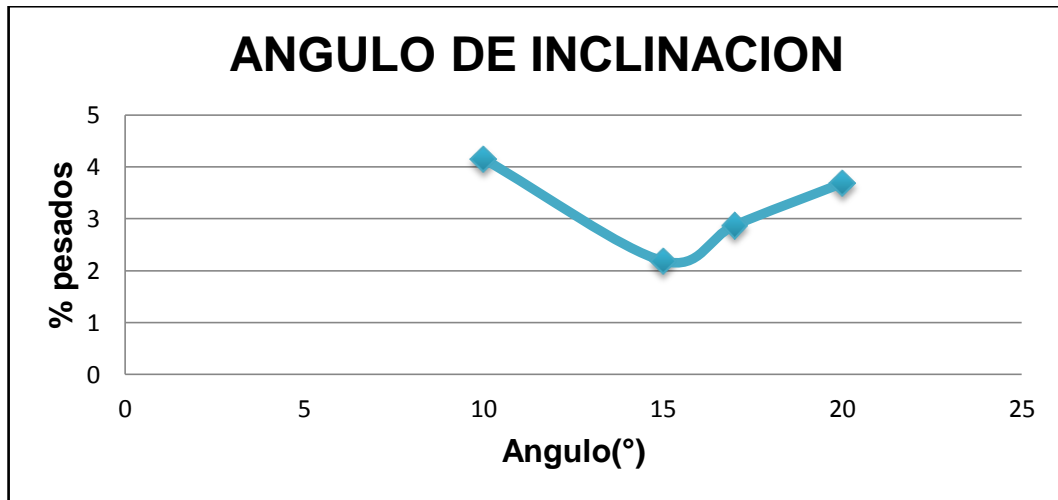


Fuente: autores.

3.3.2. Determinación de los niveles para el ángulo de inclinación:

Se procedió de igual forma que para la escogencia de los niveles del diámetro de partícula, se analizó la variación del contenido de elementos pesados con respecto a la variación del ángulo. Los resultados se muestran en la Figura 10, donde se observa que, el menor contenido de pesados se obtiene para el rango comprendido entre 15° - 17° , siendo éste el de interés para el diseño experimental.

Figura 10. Angulo de inclinación de la mesa vs. Porcentaje de pesados.

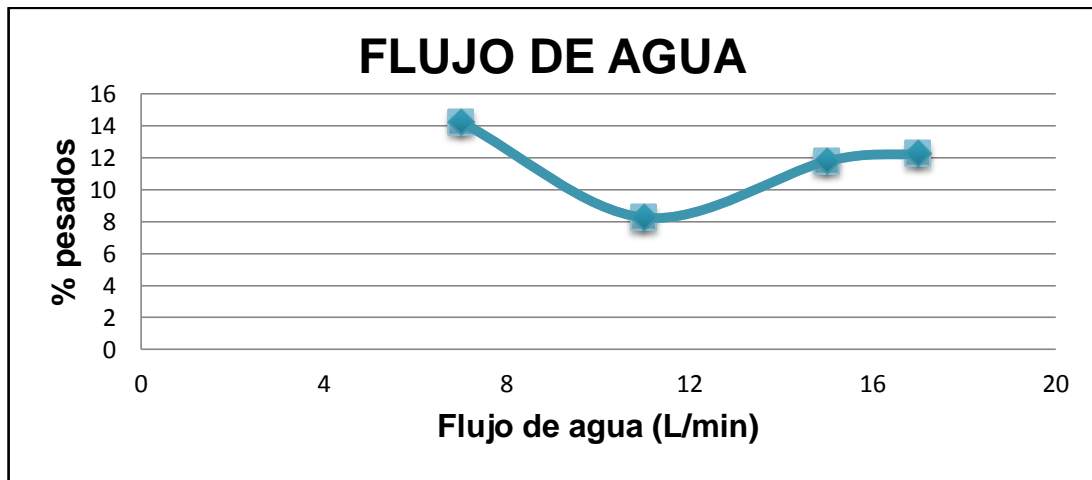


Fuente: autores.

3.3.3. Determinación de los niveles para el flujo de agua:

Se analizó la variación de la concentración de elementos pesados en las colas de acuerdo a la variación del flujo de agua empleado. Esta variación se ilustra en la Figura 11, donde se observa que, el rango más adecuado de flujo de agua está comprendido entre 11 y 15 L/min, puesto que es el rango donde se obtiene el más bajo contenido de elementos pesados, por lo tanto se eligen estos valores para el diseño experimental.

Figura 11. Flujo de agua vs. Porcentaje de pesados.

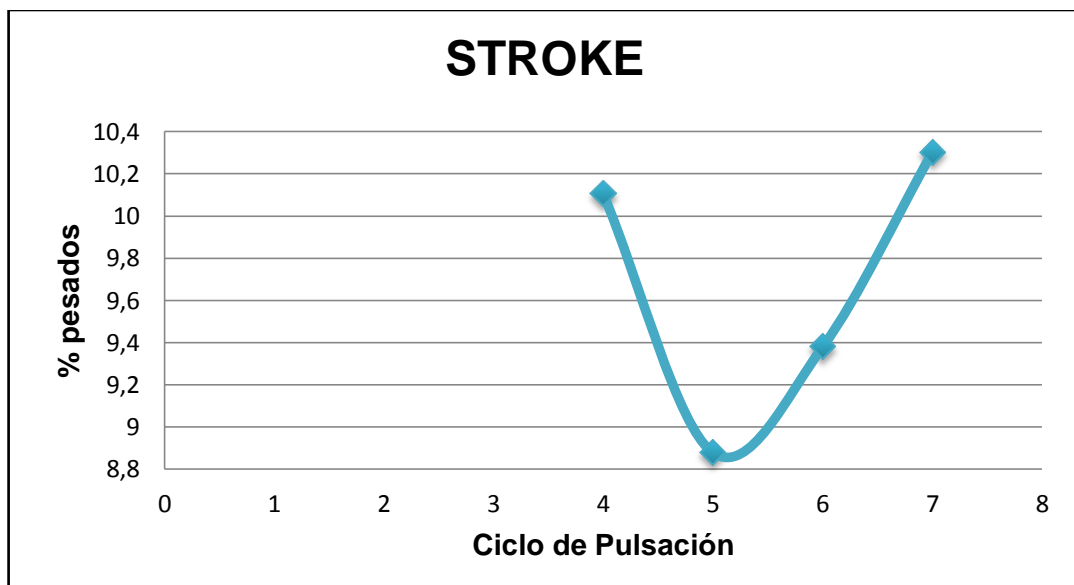


Fuente: autores.

3.3.4. Determinación de los niveles para el ciclo de pulsación

Se analizó el porcentaje de elementos pesados en las colas, para cada valor de ciclo de pulsación, los resultados se muestran en la Figura 12, se observa que el menor contenido de pesados está para un valor de ciclo de pulsación de 5; este valor se tomó constante para el diseño experimental.

Figura 12. Ciclo de pulsación vs. Porcentaje de pesados.



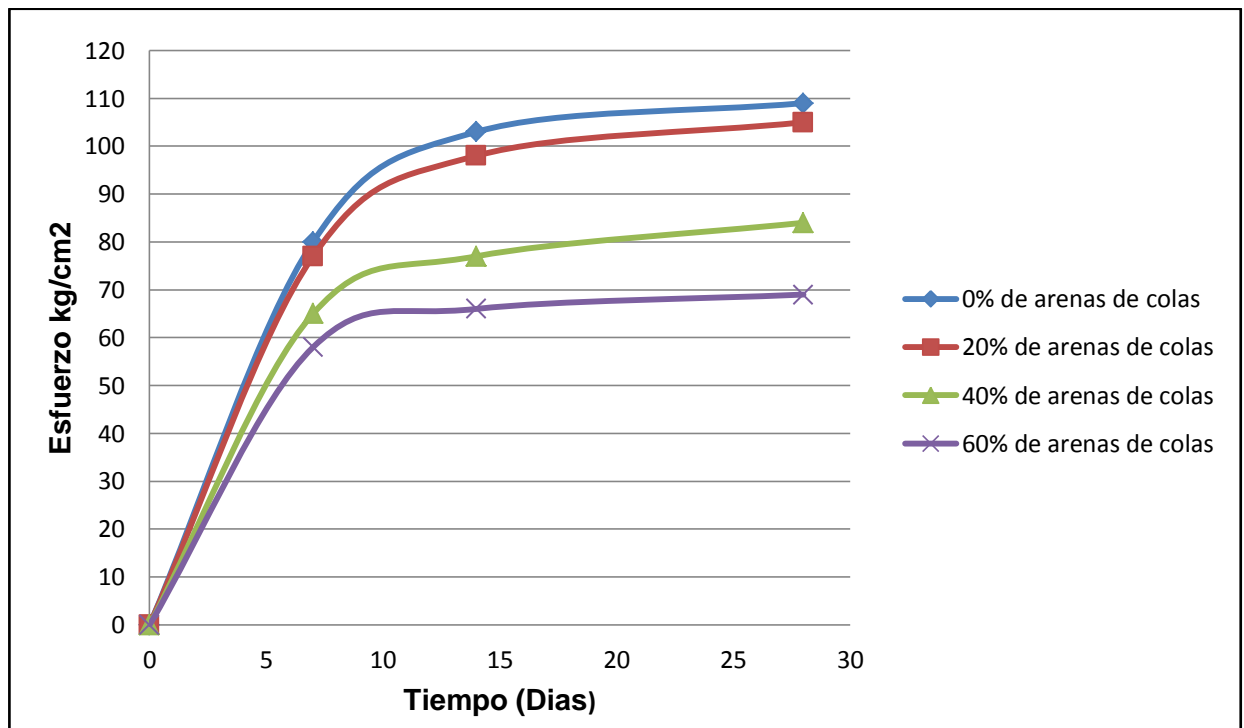
Fuente: autores.

3.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL MORTERO OBTENIDO

3.4.1. Ensayo de Compresión:

Para analizar la resistencia en mortero con adiciones de Colas de la concentración gravimétrica de Oro, se realizaron mezclas reemplazando la arena en diferentes porcentajes (0%, 20%, 40% y 60%) por dichas colas. Se realizaron cuatro probetas cúbicas de 5 cm de lado para cada tipo de mezcla y se sometieron a ensayos de compresión para 7, 14 y 28 días de curado, y de esta forma determinar la influencia del contenido de colas sobre la resistencia de la mezcla como se ilustra en la Figura 13.

Figura 13. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo.

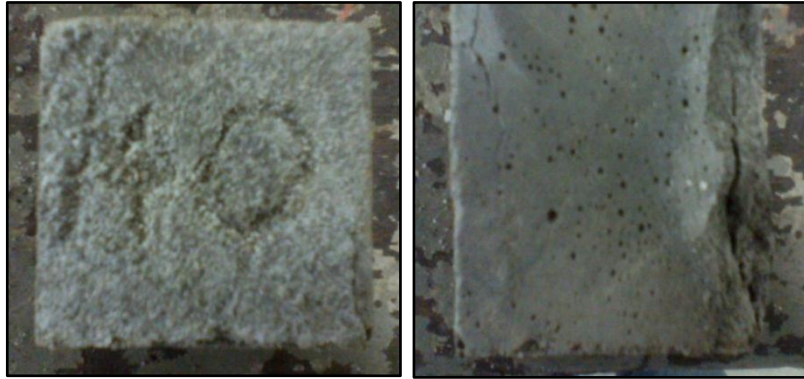


Fuente: autores.

Los resultados ilustrados en la Figura 13, muestran que un 20% de colas en arena tiene resistencia a la compresión similar a un mortero normal (0% de Colas en arena) para todos los periodos de curado; para 7 días de curado se presenta una disminución del 3.75%, para un periodo de curado de 14 días la disminución en el esfuerzo de compresión es de 4.85% y para 28 días es de 3.66%. En el caso de la mezcla en la que se reemplaza arena por colas en un 40%, la resistencia a la compresión disminuye con respecto al mortero normal. Se observa una disminución del 18.75% para un periodo de curado de 7 días, del 25.24% para un periodo de 14 días y del 22.93% para un periodo de 28 días. Este comportamiento posiblemente se debe al hecho de que las Colas son ricas en su composición por poseer aluminosilicatos de potasio puesto que tiene propiedades elásticas ocasionando que la resistencia a la compresión sea menores, los cuales le confieren una menor resistencia al mortero y debido a que tienen un diámetro de partícula fino que al mezclarse con la arena normal, cuyo diámetro de partículas es similar, el mortero se torna menos compacto, pues las partículas finas no llenan los más pequeños intersticios que quedan entre los granos de arena.

Para un mortero con 60% de Colas en arena, a simple vista se observa una disminución significativa de la resistencia a la compresión con respecto al mortero normal para periodos de curado de 14 y 28 días, siendo del 35.9% y del 36.69% respectivamente. Sin embargo, en la experiencia obtenida en esta investigación se dificultó su manipulación en estado fresco y se presentó cierto deterioro y disgregación en el período de curado, ver Figura 15, por lo tanto se eligió el 40% como el porcentaje de colas en la arenas, siendo el más adecuado para fabricar mortero, ver Figura 14 debido a que 40% en colas es la media entre las tres porcentajes utilizados como agregado en el mortero ,para someterlo a los demás ensayos (tracción, flexión, porosidad y permeabilidad).

Figura 14. Falla de probetas con 40% de colas en arena.



Fuente: autores.

Figura 15. Deterioro de probetas con 60% de colas en arena.



Fuente: autores.

3.4.2. Ensayo de Tracción:

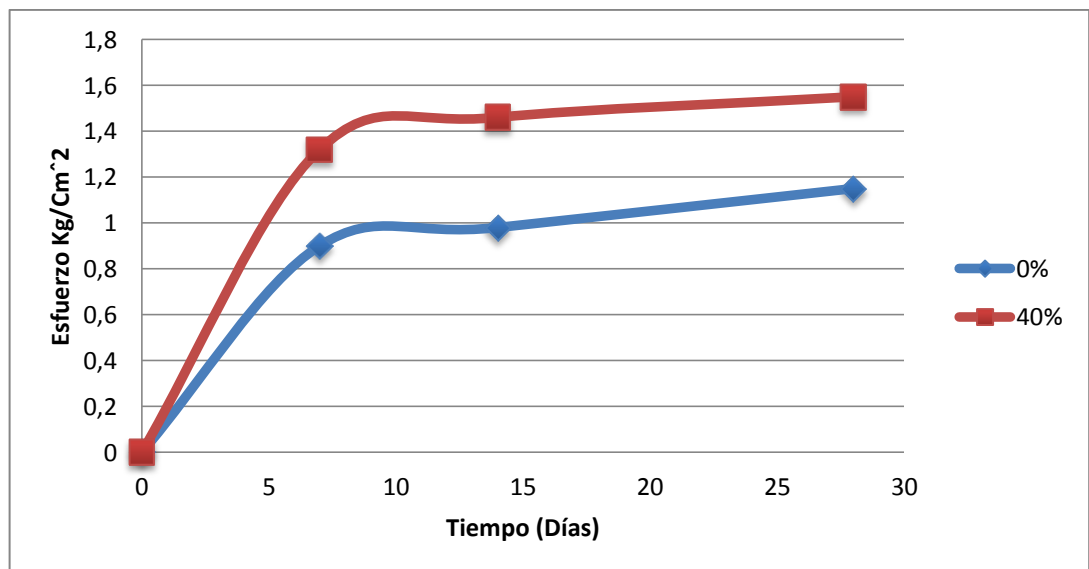
Figura 16. Probetas para ensayo de tracción.



Fuente: autores.

Para el análisis de la resistencia a la tracción en un mortero con adición de 40% de Colas en arena, se fabricaron tres probetas para cada periodo de curado de 7,14 y 28 días (Figura 16). Los resultados de este ensayo se expresaran en unidades de esfuerzo (Kg-f/cm^2), calculándolos de la ecuación $d=F/A$, donde, d es el esfuerzo en el mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la sección transversal de la probeta en estudio, 6.25 cm^2 .

Figura 17. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo.



Fuente: autores.

En la Figura 17, se aprecia que la resistencia a la tracción aumenta para todos los periodos de curado en el mortero con 40% de colas en arena con respecto al mortero normal, es decir, que esta propiedad se mejora considerablemente con la adición de las colas de Oro. Para un periodo de curado de 7 días la resistencia a la tracción aumenta en un 31.81%; para un periodo de curado de 14 días y 28 días el aumento en la resistencia a la tracción es de 32.87% y 25.80% respectivamente.

Figura 18. Falla de probetas con 40% de colas en arena.



Fuente: autores.

La Figura 18, confirma el comportamiento que proveen las Colas de un mineral aurífero, puesto que, por su diámetro de partícula y composición, hacen que la mezcla sea más compacta y presente mayor resistencia a la tracción.

3.4.3. Ensayo de Flexión:

Para el análisis de la resistencia a la flexión en el mortero con adición de colas de mineral de oro, se fabricaron tres probetas cúbicas para un 40% de colas en arena y para un período de curado de 7, 14 y 28 días.

Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (Kg.-f/cm^2); el valor de resistencia corresponde el comportamiento de una viga apoyada con una carga central y su cálculo obedece la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{3 * F * L}{2 * a^3} \quad \text{Eq. (4)}$$

Dónde:

δ = Resistencia a la flexión (Kg.-f/cm²)

F= Fuerza aplicada al sistema (Kg.-f)

L= Longitud efectiva entre apoyos (14 cm.)

a= Longitud del lado de sección transversal de la viga (4 cm.)

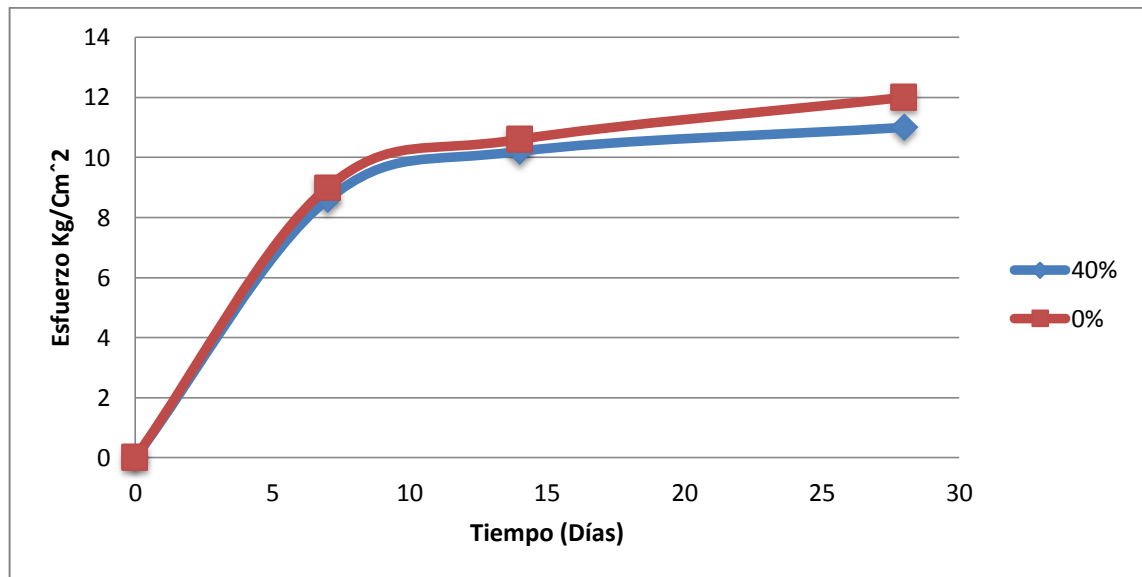
La falla de la probeta ocurre en el momento en el que se somete la sección transversal del elemento, a la aplicación de la carga. La probeta se rompe generando una línea de falla como se muestra en la Figura 18, este tipo de falla según la norma técnica colombiana NTC 120 indica que la falla se produce de forma dúctil ya que la grieta solo se propaga en una línea.

Figura 19. Falla de probetas con 40% de colas en arena.



Fuente: Autores.

Figura 20. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo.



Fuente: autores.

Analizando la Figura 20, se puede observar que la resistencia a la flexión, para un 40% de Colas en arena de la mezcla, disminuye en un 3.77% con respecto al mortero normal para los primeros 14 días de curado. De 14 a 28 días la disminución del esfuerzo a la flexión con respecto al mortero normal es de 8.3%, lo cual representa una disminución mayor.

3.4.4. Ensayo de Porosidad:

El porosímetro de campo Ruska mide volúmenes del desplazamiento del pistón que corresponden al volumen de sólidos o granos de la muestra, y el volumen total de la muestra; posteriormente, estas medidas se convierten a cm³ por medio de las curvas de calibración del manual del porosímetro.

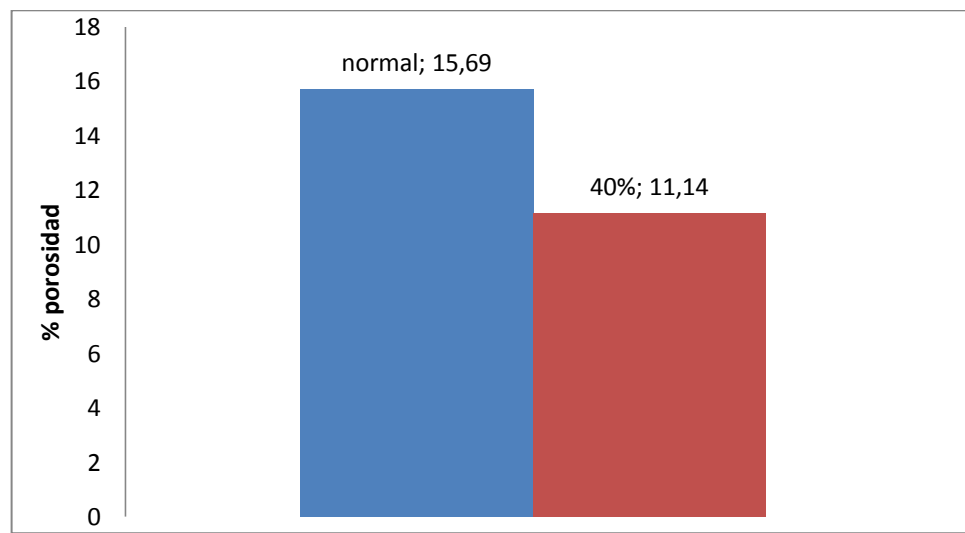
En este caso se determinó el valor del volumen de grano, mediante el porosímetro; y el volumen total de la muestra, se determinó mediante la medición de la longitud de cada uno de los lados de las muestras. Después de convertir las lecturas de Rcore a cm³, y de obtener el volumen total (RHg) en cm³ para cada muestra, se determina el porcentaje de porosidad mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porosidad (\%)} = (1 - (R_{\text{core}} / R_{\text{Hg}})) * 100$$

Eq. (5)

En la Figura 21, se pueden observar los datos obtenidos de porosidad para mortero normal, y para mortero en el que se reemplaza 40% Colas en arenas.

Figura 21. Valores de porosidad.



Fuente: autores.

Al analizar la Figura 21, se observa que para un mortero normal la porosidad equivale a un 15.69%, mientras que para un mortero con agregado de Colas de mineral de oro en un 40% en arena, la porosidad disminuye en un 4,55% con respecto al mortero normal. Esto es posible debido a que las partículas más finas de las colas ocupan los intersticios de la arena que posee partículas más gruesas. Este efecto hace que la mezcla se compacte aún más y, por consiguiente, la porosidad disminuya.

3.4.5. Ensayo de permeabilidad:

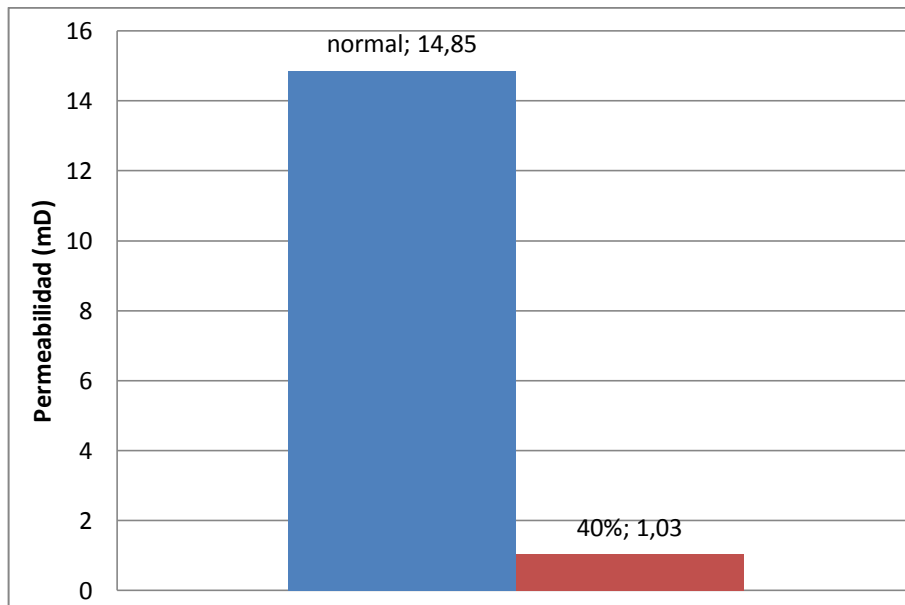
La permeabilidad se obtuvo mediante el permeámetro de gas de Ruska, esta se calculó conociendo el caudal de gas que pasa a través del núcleo, el gradiente de presión, la viscosidad del gas y las dimensiones de la muestra.

La viscosidad del gas (μ) se determinó conociendo la temperatura ambiente a la cual se desarrolló el ensayo. Con las lecturas flowmeter, R_f , y la escala de flowmeter (S, M, o L) se obtuvieron el flujo promedio del gas, Q (cm/s), mediante gráficos de conversión; conociendo estos valores, el gradiente de presión (atm), el área transversal de la muestra, A (cm²), y longitud de la muestra, L (cm.), se obtiene la permeabilidad (milidarcys) utilizando la siguiente expresión:

$$K = \mu \cdot Q \cdot L / A \cdot P \text{ (mD)} \quad \text{Eq. (6)}$$

En la Figura 22, se muestran los resultados obtenidos para la permeabilidad de mortero normal, y para el mortero elaborado reemplazando el 40% de la arena por colas de la Oro.

Figura 22. Valores de permeabilidad.



Fuente: autores.

A partir de los valores obtenidos, se puede analizar que la permeabilidad de la muestra de 40 % de Colas en arena es mucho más pequeña que la de un mortero normal, debido a la dificultad con la que el gas, en este caso el aire, atraviesa la muestra que es mucho más compacta pues la mayoría de los intersticios se encuentran ocupados por las partículas finas de las colas.

CONCLUSIONES

- La buena selección de las variables operativas en las pruebas preliminares, como es el caso en la mesa Wilfley, juegan un papel fundamental en la obtención de buenos resultados para la concentración del mineral, puesto que la buena selección de estas nos permite obtener concentrado aurífero de mayor pureza y Colas con menor cantidad de elementos pesados.
- No es conveniente la utilización del mortero con agregados de Colas de mineral de aurífero, para la elaboración de ladrillos de construcción, debido a que sus propiedades no son las adecuadas para el uso de estos en: placas, columnas o ladrillos, puesto que su resistencia a la compresión no se encuentra en los rangos de la norma técnica colombiana NTC 4026, la cual indica que un ladrillo debe tener como requerimiento mínimo, resistencia a las compresiones de 7 MPa y máximo de 11 MPa, y para el caso nuestro, este posee una resistencia a la compresión máxima de 6.7 MPa. Probablemente nuestro mortero es adecuado para el uso en pañetes y mezcla para instalación de baldosas ya que para estos usos no se requieren de grandes propiedades mecánicas. Ver Tabla 3 (Anexo B).
- Para la utilización de los morteros de 20%, 40%, 60% en Colas de mineral aurífero, se observó que las propiedades a la compresión disminuían de una forma muy pronunciada, es el caso del mortero con 40% el cual tuvo un disminución del 18.75% con respecto al mortero de 0% en Colas para un periodo de curado de 7 días; del 25.24% para un periodo de 14 días y del 22.93% para un periodo de 28 días. Ocasionando malos resultados para usos que requieran de altas resistencias a la compresión.
- Es conveniente la utilización del mortero con agregados de Colas de mineral aurífero, como mortero de revestimiento, para usos en pañetes y revoques,

debido a que este mortero posee una resistencia a la tracción de $1,55 \text{ Kg/cm}^2$ para un tiempo de curado de 28 días, siendo esta adecuada para este trabajo, puesto que se encuentra entre los rangos de $(1,3-1,6 \text{ Kg/cm}^2)$ para un tiempo de curado de 28 días, establecidos en la norma técnica colombiana NTC 4186 (Elaboración de paneles de mortero para ensayar recubrimientos).

- En el mortero fabricado con Colas de mineral de oro la permeabilidad disminuye con respecto al mortero normal, debido a la dificultad con la que el aire atraviesa la muestra, la cual es mucho más compacta, puesto que, la mayoría de los intersticios se encuentran ocupados por las partículas finas de las Colas.

RECOMENDACIONES

- Es importante la realización de otros proyectos para darle un avance a esta investigación, donde se adicionen agregados y aditivos al mortero, con el fin de realizar comparaciones con respecto a las propiedades y así tratar de mejorar las obtenidas.
- Reubicación de las escombreras utilizadas para la deposición de los relaves producto del beneficio gravimétrico de un mineral aurífero, puesto que generan riesgo para la población aledaña a estas escombreras y se están convirtiendo en un contaminante ambiental.
- Capacitación al personal para generar conciencia en ellos y así promover nuevas alternativas para manejo y uso de los desechos de procesamiento generados por el beneficio gravimétrico del Oro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELEMENTOS DE PREPARACIÓN DE MINERALES. Taggart Arthurf. Madrid, España. Interciencia 1966.
- [2] KELLY, E and SPOTTISWOOD, D. Introduction to Mineral Processing. John Wilwy & Sons, Inc. 1982.
- [3] PEDRAZA ROSAS, Julio Elías. Manual de Procesos de Minerales II. Concentración. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1992.
- [4] Geyh, Mebus A. and Helmut Schleicher, 1990. Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application. Springer- Verlag.
- [5] CASTILLA, J y PASCUAZA, B, Obtención De Mortero A Partir De Residuos Del Beneficio Gravimétrico De La Galena, Tesis investigativa, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia, 2006.
- [6] OBTENCION Y EVALUACIÓN DEL MORTERO MAGNÉTICO. Gómez Contreras Kelly Esperanza; Gómez Contreras Sandra Liliana. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.
- [7] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Clasificación de los morteros. [En línea]. Disponible en: <http://www.imcyc.com/concretohistoria/morteros.htm> (consultado el 02 de abril del 2013).

[8] ASTM C144 - 11 .Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería.

[9] C1714/C1714M, Especificación para mezcla de mortero seco premezclado para albañilería.

[10] C230/C230M-08, Especificación Estándar para Tabla de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico.

[11] C-305, Práctica estándar para la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.

[12] C-109, Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando 2 pulgadas o [50 mm] Cube muestras).

BIBLIOGRAFÍA

ASTM C144 - 11 .Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería.

C-109, Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando 2 pulgadas o [50 mm] Cube muestras).
C1714/C1714M, Especificación para mezcla de mortero seco premezclado para albañilería.

C230/C230M-08, Especificación Estándar para Tabla de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico.

C-305, Práctica estándar para la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.

CASTILLA, J y PASCUAZA, B, Obtención De Mortero A Partir De Residuos Del Beneficio Gravimétrico De La Galena, Tesis investigativa, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia, 2006.

ELEMENTOS DE PREPARACIÓN DE MINERALES. Taggart Arthurf. Madrid, España. Interciencia 1966.

Geyh, Mebus A. and Helmut Schleicher, 1990. Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application. Springer- Verlag.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Clasificación de los morteros. [En línea]. Disponible en: <http://www.imcyc.com/concretohistoria/morteros.htm> (consultado el 02 de abril del 2013).

KELLY, E and SPOTTISWOOD, D. Introduction to Mineral Processing. John Willy & Sons, Inc. 1982.

OBTENCION Y EVALUACIÓN DEL MORTERO MAGNÉTICO. Gómez Contreras Kelly Esperanza; Gómez Contreras Sandra Liliana. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.

PEDRAZA ROSAS, Julio Elías. Manual de Procesos de Minerales II. Concentración. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1992.

ANEXOS

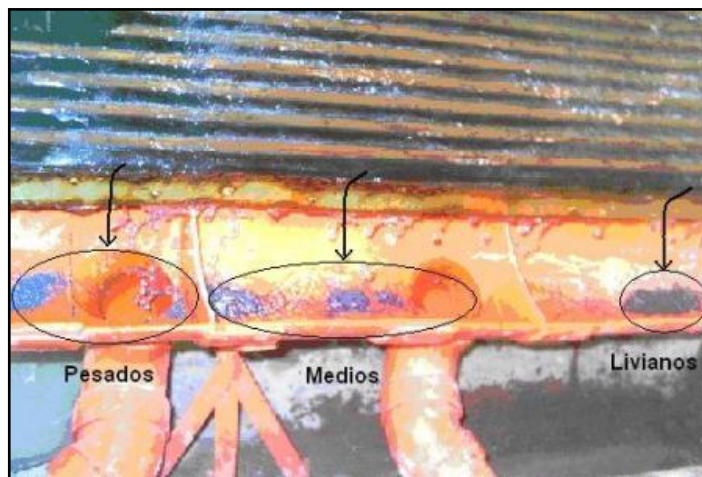
ANEXO A

Mesa concentradora Wilfley

✓ **Ventajas**

- Descarga continua de productos.
- Permite obtener toda una gama de productos (concentrados o pesados, medios, colas o livianos).
- Comportamiento visible del material sobre el tablero.
- Costo de producción relativamente bajo.
- Gran flexibilidad.
- Manejo y supervisión relativamente simple.
- Posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañantes.
- Condiciones de trabajo seguras.
- Buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento, poco uso de agua y energía.
- Posibilidad de su producción en países de desarrollo.

Figura 1. Productos obtenidos en mesa Wilfley.



Fuente: autores.

✓ **Desventajas**

- Precio relativamente alto (en relación a su capacidad)
- Requiere alimentación constante
- Requiere supervisión continua

- Requiere motor

- **Tipos básicos**

Hay dos tipos de mesas, la arenadora, que trabaja con material de 3 mm hasta la malla 200, y la mesa de fangos que trabaja con tamaños de partículas menores a la malla 200; se diferencian en la profundidad y la extensión del sistema de rifles, haciendo profundos los de la mesa arenadora y más superficiales los de la mesa para fangos.

ANEXO B

Clasificación de los morteros

Los morteros pueden clasificarse de diferentes maneras, entre ellas se tienen:

Según el tipo de composición: Se basa en la clasificación según el tipo de aglutinante o el material distintivo en la fabricación del mortero. Entre estos tenemos:

- Morteros de cemento: es el tipo de mortero más usado, su principal característica es su alta resistencia y durabilidad.
- Morteros calcáreos: su componente aglutinante es la cal, se caracteriza por su manejabilidad.
- Mortero combinado: sus elementos aglutinantes son el cemento Pórtland y la cal hidratada. Esta mezcla se caracteriza por poseer una buena manejabilidad y una resistencia aceptable.
- Mortero celular: se caracteriza por la incorporación de aire, adición de espuma o cascarilla de arroz. Su principal propiedad es su bajo peso.
- Mortero polimérico: se caracteriza por poseer propiedades plásticas.

Según el tipo de preparación:

- Mortero premezclado.
- Mortero preparado in situ.

Según el tipo de función que cumplen:

- Mortero sin función estructural o morteros de recubrimiento; sirven para:
 - Friso o pañete.
 - Retención de agua, pega de enchapes.
- Mortero con función estructural:
 - Morteros para elementos estructurales, pega.
 - Morteros de mampostería.

Tipos de corrosión o afectación de la durabilidad de un mortero

- **Corrosión externa:**

- **Corrosión física:** hace referencia al desprendimiento del material por desgaste mecánico al contacto con agentes externos que gastan sus capas superficiales, más conocido como erosión.
- **Corrosión química:** ocurre cuando una disolución agresiva ataca al material, intercambiando iones. Se presenta de dos formas:
 - **Corrosión por cambio iónico:** debida a la reacción de cambio entre cargas eléctricas de los componentes de la pasta endurecida de cemento y las sustancias presentes en el agua agresiva.
 - **Corrosión por expansión:** se presenta en la superficie de mortero una acción físico-química instantánea que produce desgaste e intercambio aniónico, lo cual inicia la destrucción del mortero. Esto produce en la estructura expansiones y dilataciones reiteradas que aflojan la composición de la matriz de mortero y producen su inminente desintegración.
- **Corrosión por lixiviación:** Causada por la acción de aguas poco carbonadas, aguas blandas y aguas que contienen ácido carbónico.
- **Corrosión interna:**
 - Exceso de yeso en el cemento que se pone en contacto con una solución de cal.
 - Adición excesiva de cenizas volantes al cemento.

Ataques al mortero por parte del medio ambiente:

- **Ataque por sulfatos:** interacción físico-química entre los minerales constituyentes de la pasta de mortero y los iones sulfatos presentes en el medio. Manifestaciones:
 - Ataque en forma de expansión.
 - Pérdida de masa o desintegración.
 - Agrietamiento.

- **Carbonatación:** inclusión de CO₂ atmosférico que reduce la alcalinidad de la pasta y produce la despasivación y como consecuencia la corrosión del acero en elementos estructurales.
- **Ciclo de hielo y deshielo:** consiste en la congelación y descongelación del agua absorbida por la mezcla de mortero que al pasar de un estado a otro, genera tensiones que agrietan internamente la estructura y generan la pérdida de resistencia y durabilidad.

Tabla 1. Aplicaciones de morteros según su fluidez.

Consistencia	fluidez	Colocación	Ejemplos de tipo de estructura	Ejemplos del sistema
Dura (seca)	80-100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento en túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100-120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros para pisos	Manual, bombeo, inyección

Fuente: SANCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.

Tabla 2. Uso de los morteros de cemento.

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones y rellenos.
1:2	En impermeabilizaciones, pañetes de tanques subterráneos y rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores: pega ladrillos y baldosines, pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega ladrillos y baldosines, pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler muy pronto.

Fuente. SANCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.

Tabla 3. Requisitos de resistencia a la compresión, absorción de agua y clasificación del peso.

Resistencia a la compresión a los 28 d (R_{c28}) ^B , evaluada sobre el área neta promedia (A_{np})			Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m^3		
Mínimo ^B , MPa			Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de $1\ 680\ kg/m^3$	Peso mediano, de $1\ 680\ kg/m^3$ hasta menos de $2\ 000\ kg/m^3$	Peso normal, $2\ 000\ kg/m^3$ o más
Alta	13	11	15 %	12 %	9 %
Baja	8	7	18 %	15 %	12 %

Fuente. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4026.

ANEXO C

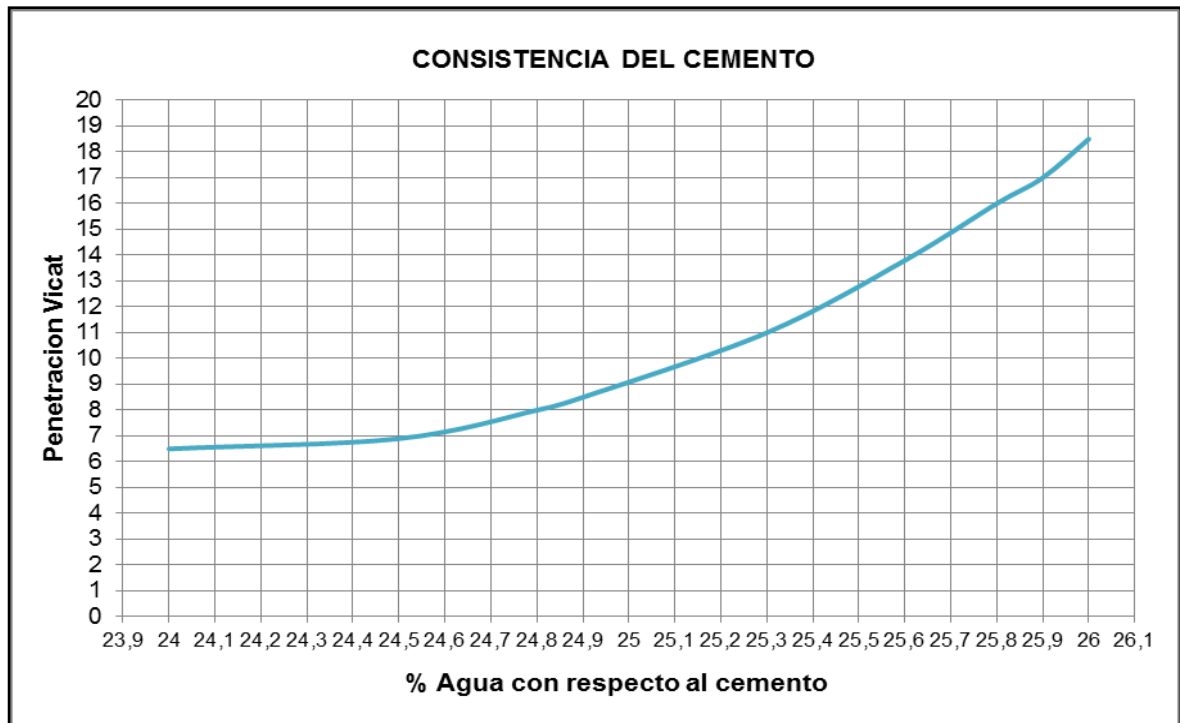
Caracterización de los componentes del mortero

Tabla 1. Datos de consistencia del cemento.

CEMENTO gramos	AGUA		PENETRACIÓN	
	%	ml.	Parcial	Promedio
500	26	130	18,5	17,1
500	26	130	17	
500	26	130	16	
500	25	125	13,5	11
500	25	125	11	
500	25	125	8,5	
500	24	120	6.9	6,5
500	24	120	6.5	
500	24	120	6	

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en este proyecto.

Figura 1. Gráfica de la consistencia del cemento.



Fuente: autores.

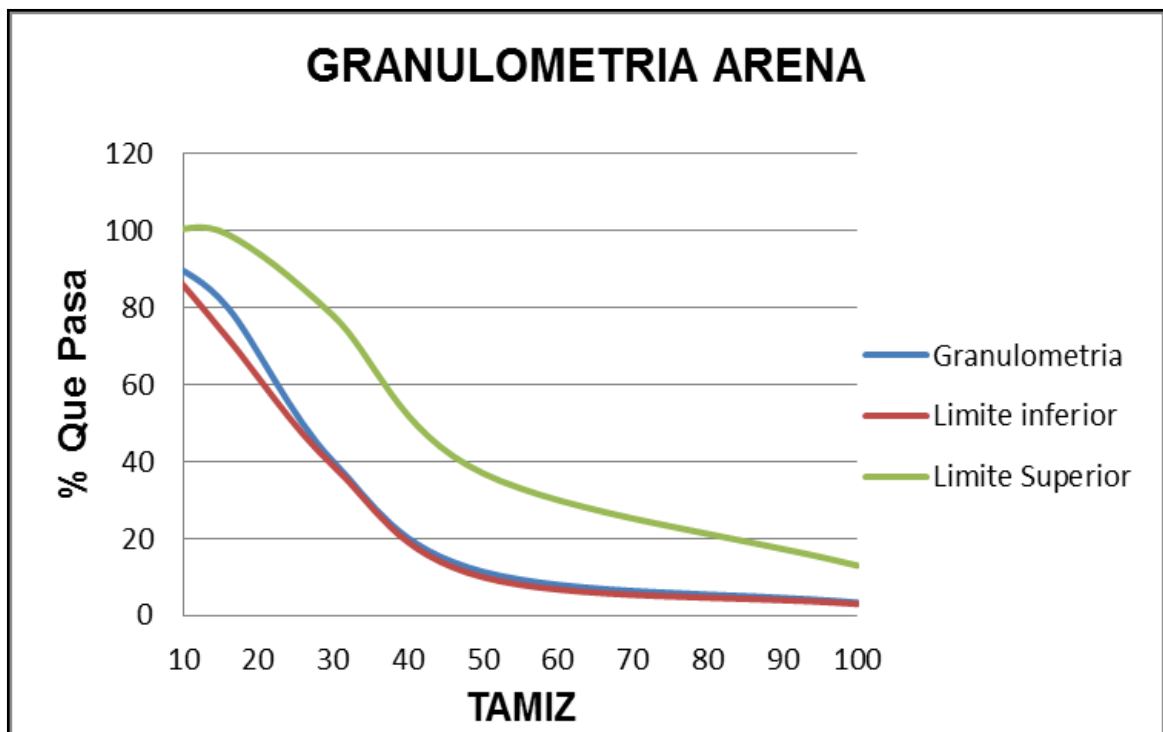
Tabla 2. Granulometría de la arena.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
4	4.76	45.8	4.58	4.58	95.42
8	2.38	35.8	3.58	8.16	91.84
16	1.19	118.6	11.86	20.02	79.98
30	0.595	398.6	39.86	59.88	40.12
50	0.297	287.3	28.73	88.61	11.39
100	0.149	80.0	8.00	96.61	3.39
Fondo		33.0	3.30	99.91	0.09
Total		999.1	99.91	Peso muestra	1000 g
Módulo de finura	2.78				

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en este proyecto.

Figura 2. Granulometría arena.



Fuente: autores.

Figura 3. Determinación de materia orgánica en arena.



Fuente: autores.

Este ensayo se realizó mediante el método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas utilizadas en la preparación de morteros y hormigones, descrito en la norma NTC 127.

Se colocó una cantidad de arena (aproximadamente 130 cm³) en un frasco y se agregó solución de hidróxido de sodio. Se tapó el frasco, se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 24 horas. Después de este tiempo se comparó el color de la solución normal de referencia (hidróxido de sodio), con la del líquido contenido en el frasco con arena. Como el color obtenido fue equivalente al de la muestra de referencia: Contenido de materia Orgánica = 0%.

Tabla 3. Cálculo de la gravedad específica (Arena).

GRAVEDADES ESPECÍFICAS	
DATOS:	
A= Peso del frasco+ Agua hasta la marca, en el aire.....	<u>665</u> Gramos
B= Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire.....	<u>500</u> Gramos
C= Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire	<u>965</u> Gramos
D= Peso de la muestra secada al horno.....	<u>495</u> Gramos
CÁLCULOS:	
Gravedad específica real.....	$\frac{D}{(A - C + D)} = \frac{2.54}{}$
Gravedad específica aparente.....	$\frac{D}{(A + B - C)} = \frac{2.48}{}$
Gravedad específica aparente S.S.S.....	$\frac{B}{(A + B - C)} = \frac{2.50}{}$ E

Tabla 4. Cálculo del peso unitario y porcentaje de absorción y de vacíos.

PESO UNITARIO NORMANTC 92		
CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR:		
P1= Peso del medidor + vidrio		<u>3.04</u> Gramos
P2= Peso del medidor + vidrio + agua.....	 Gramos
V= Volumen del medidor.....	$\frac{(P_2 - P_1)}{1000} =$	<u>2.85</u> dm ³
DATOS:		
Pm = Peso del medidor vacío.....		<u>2540</u> Gramos
Pc= Peso del medidor+ material S.S.S. compactado.....		<u>6885</u> Gramos
Ps = Peso del medidor+ material S.S.S. suelto.....		<u>6281</u> Gramos
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado	$\frac{(Pc - Pm)}{V} =$	<u>1524.6</u> F
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto	$\frac{(Ps - Pm)}{V} =$	<u>1312.6</u>
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y DE VACÍOS (NORMANTC 237)		
% de absorción.....	$(B-D)*100/D$	<u>=1.01</u> %
% de vacíos.....	$\frac{(E*1000 - P)}{E*10}$	<u>=39.016</u> %

Tabla 5. Gravedades específicas y porcentaje de absorción (colas de Oro).

GRAVEDADES ESPECÍFICAS		
DATOS:		
A= Peso del frasco+ Agua hasta la marca, en el aire.....		<u>665</u> Gramos
B= Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire.....		<u>500</u> Gramos
C= Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire....		<u>990</u> Gramos
D= Peso de la muestra secada al horno.....		<u>485</u> Gramos
CÁLCULOS:		
Gravedad específica real.....	$\frac{D}{(A - C + D)} =$	<u>3.03</u>
Gravedad específica aparente.....	$\frac{D}{(A + B - C)} =$	<u>2.77</u>
Gravedad específica aparente S.S.S.....	$\frac{B}{(A + B - C)} =$	<u>2.86</u>
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (NORMANTC 237)		
% de absorción.....	$(B-D)*100/D$	<u>=3.09</u> %

ANEXO D

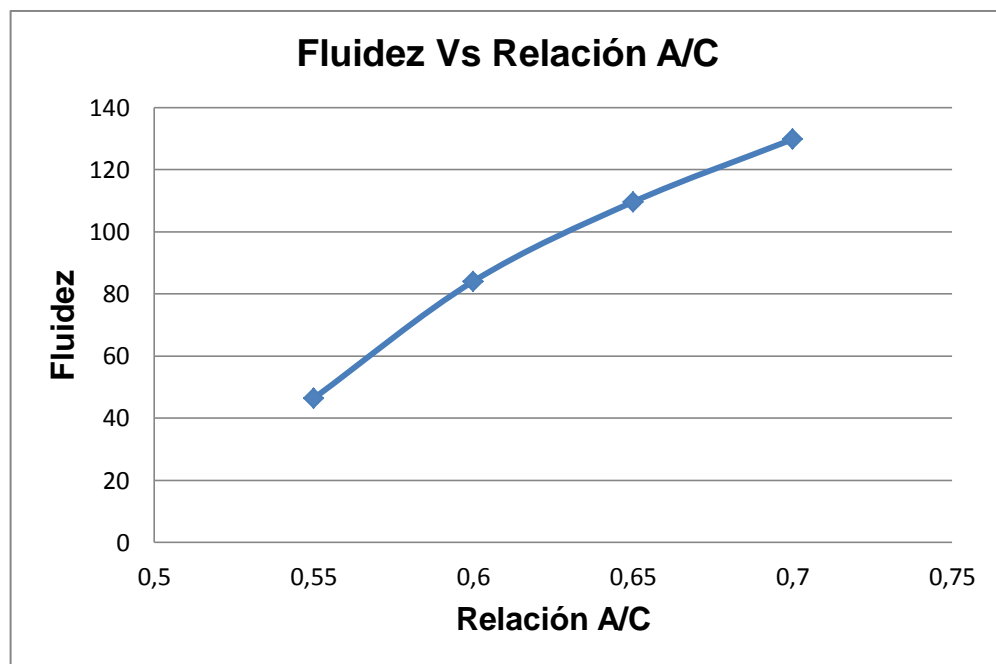
Relación entre porcentaje de Fluidez y Relación Agua/Cemento

Tabla 1. Relación entre porcentaje de Fluidez y Relación A/C.

Relación A/C	Rayas	Diámetro	Fluidez
0.55	10.82	148.74	46.40
0.60	20.23	186.98	84.04
0.65	26.61	212.91	109.56
0.70	31.65	233.40	129.72

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en este proyecto.

Figura 1. % de Fluidez vs. Relación A/C.



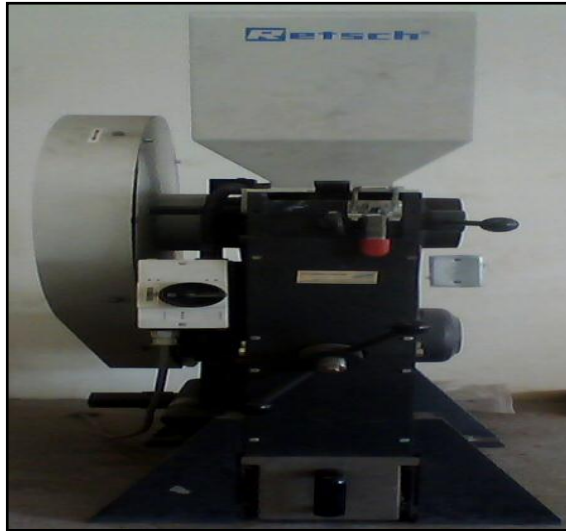
Fuente: autores.

ANEXO E

Etapas para Pruebas Preliminares: Concentración en Mesa Wilfley

- Trituración gruesa.

Figura 1. Trituradora de mandíbula.



Fuente: Laboratorio Geología UIS.

- Trituración fina.

Figura 2. Trituradora de cono.



Fuente: Escuela Ing. Metalúrgica UIS.

- Molienda.

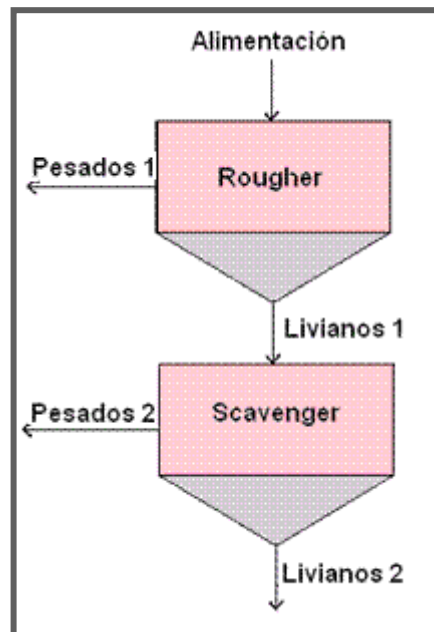
Figura 3. Molino de bolas.



Fuente: Escuela Ing. Metalurgica UIS.

- **Tamizado**
- **Concentración en Mesa Wilfley**

Figura 4. Circuito de alimentación gravimétrica en la mesa Wilfley.



Fuente: Autores.

ANEXO F

Ensayos de laboratorio para Mortero

Ensayo de Compresión.

Figura 1. Máquina universal de ensayos TREBEL.



Fuente: Escuela Ingeniería Civil de la UIS.

Este ensayo mide el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de compresión.

Para éste ensayo se emplearon probetas cúbicas de 50 mm, de lado, las cuales fueron fundidas conforme a la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm. de lado). Se mantuvo gran rigurosidad en los requerimientos de la norma para los procedimientos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas. Este ensayo de compresión de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Figura 1), ubicada en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la escuela de Ingeniería Civil, dentro de los rangos de velocidad y carga permitidas. En la evaluación de los resultados se tomó en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto a los cubos defectuosos y sus correspondientes valores de aceptación.

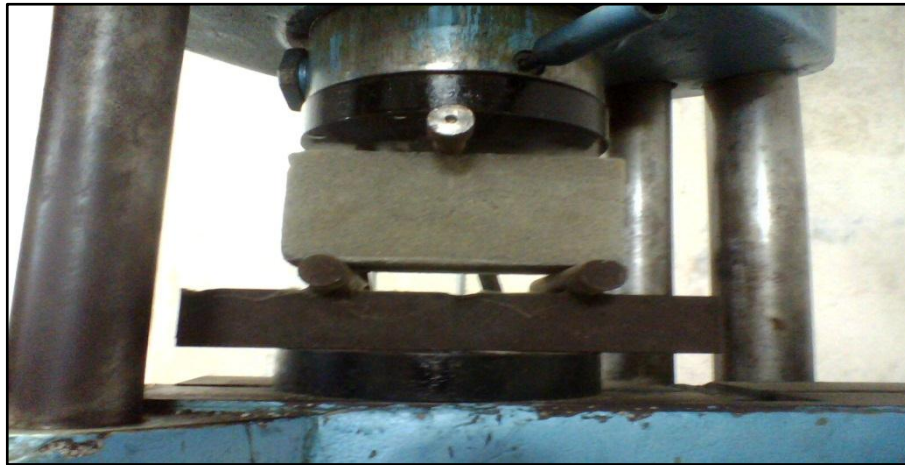
La resistencia a la compresión de los morteros se evaluó para 7, 14 y 28 días debido a la gran influencia que poseen estas edades dentro de las diferentes

propiedades del mortero y la gran importancia para la caracterización de una mezcla.

Igualmente se consideró de gran importancia este ensayo para determinar la resistencia en dichos tiempos para probetas que contenían proporciones de 0, 20, 40 y 60% de partículas de agregado de colas de Oro en el volumen total de la arena.

Ensayo de Flexión.

Figura 2. Montaje para el ensayo de Flexión.



Fuente: Escuela Ingeniería Civil de la UIS.

Por medio de esta prueba se puede determinar la resistencia a la flexión de un mortero de cemento hidráulico.

Para este ensayo se fabricaron probetas de una longitud de 16 cm. y una sección cuadrada de 3.55 cm. de lado. Dichas probetas se fundieron de acuerdo a la norma NTC 120 (Método para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico), empleando las herramientas correspondientes tales como molde, compactador, guías del compactador, etc. Se mantuvo gran rigurosidad en los requerimientos de la norma para los procedimientos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas.

El ensayo de flexión de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Figura 2), ubicada en el Laboratorio de Resistencia de materiales de la escuela de Ingeniería Civil, dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos. Para este ensayo se reemplazó el montaje recomendado por la norma, debido a la dificultad en la obtención del dispositivo para el apoyo de las probetas en el apoyo de la carga, por otro realizado con materiales encontrados en laboratorio y que cumple satisfactoriamente con la función deseada.

Ensayo de Tracción.

Figura 3. Montaje ensayo de Tracción.



Fuente: Escuela Ingeniería Civil de la UIS.

El ensayo de tracción determina el comportamiento de cemento hidráulico bajo cargas de tensión.

Para este ensayo se utilizaron probetas fundidas de acuerdo a la norma NTC 119 (Método para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico).

Los procesos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas requeridos en la norma NTC 119 se realizaron cuidadosamente para atender a sus requerimientos.

El ensayo de tracción de las probetas se realizó de acuerdo al montaje de la (Figura 3), siendo adaptada a las correspondientes exigencias de la norma cumpliendo los requerimientos necesarios para el propósito y dentro de los rangos de carga y velocidad permitidos. Así mismo, se tomó en cuenta las indicaciones complementarias de la norma en cuanto al tratamiento de las probetas y su selección para la evaluación de los resultados.

Ensayo de Porosidad.

Figura 4. Porosímetro de Campo Ruska.



Fuente: Escuela Ingeniería Civil de la UIS.

Por medio de este ensayo se determina la porosidad de muestras sólidas empleando el Porosímetro de campo Ruska mostrado en la (Figura 4).

El principio de esta prueba es la ley de Boyle para determinar la porosidad. Las medidas obtenidas son valores de porosidad efectiva. La determinación de la porosidad se realiza midiendo el volumen de sólidos o granos de la muestra seguida por una medición del volumen total de la muestra.

Para realizar la prueba se emplearon los siguientes equipos y herramientas:

- Porosímetro de campo Ruska
- Cápsula contenedora
- Guantes profilácticos
- Muestras de mortero previamente preparadas (para 40% de colas en arena y 0% de colas en arena).

Procedimiento experimental para Ensayo de Porosidad:

- Se fabricaron 3 probetas cúbicas de 5 cm de lado y de 40 % de colas en arena. Se sometieron a curado de 28 días. Después de este período se cortaron 2 cubos de 2 cm. de lado aproximadamente de cada probeta (Figura 5), previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.
- Chequear que el porosímetro tenga buenas condiciones de operación (sin fugas en el sistema al hacer presión).
- Seleccionar previamente la copa más pequeña que pueda alojar la muestra y ajustarla vacía al porosímetro.
- Con la válvula de descarga abierta llevar el pistón un poco más atrás de la posición de operación. Cada copa tiene una posición específica de inicio así:
 - Copa pequeña: 150
 - Copa media: 250
 - Copa grande: 400
- Llevar el mecanismo del pistón hacia delante hasta su posición de inicio y no retroceder para evitar el backlash.
- Cerrar la válvula de descarga y llevar el pistón hacia delante hasta que la lectura de la manga micrométrica sea cero. El nivel de mercurio alcanzado es tomado como referencia: lleve la marca del nivel hasta este punto.
- Cerrar la válvula de alivio suavemente antes de llevar el pistón un poco más atrás de su respectiva posición de inicio.

- Colocar el corazón o muestra dentro de la copa ajustada a cero y anclarla al bloque del manifold.
- Con la válvula de alivio abierta llevar al pistón hacia delante hasta su posición de inicio correspondiente, sin retroceder.
- Cerrar la válvula de alivio y llevar el pistón suavemente hacia delante hasta alcanzar el nivel de mercurio de referencia anterior, se debe registrar la medida del micrómetro como R_{core} que es proporcional al volumen de sólidos de la muestra. Abrir la válvula de alivio y retirar la copa del manifold.
- Se repiten los pasos anteriores y se obtiene un estimativo proporcional al volumen de mercurio en la copa, el volumen bruto de la muestra se designa como R_{Hg} .

Figura 5. Muestras utilizadas en el ensayo de porosidad.



Fuente: autores.

Ensayo de Permeabilidad.

Figura 6. Permeámetro de Gas Ruska.



Fuente: Escuela Ingeniería Civil de la UIS.

Por medio de este ensayo se determina la permeabilidad de morteros, mediante la utilización del permeámetro de gas Ruska. (Figura 6).

La permeabilidad al gas de una muestra de mortero obedece a la ley de Darcy, midiendo en un rotámetro la tasa de flujo de un gas, en este caso el aire, que se hace pasar a través de la muestra bajo un gradiente de presión. Se conoce la viscosidad del gas a la temperatura de trabajo.

El valor de permeabilidad que se determina en el permeámetro de gas es de permeabilidad absoluta. La permeabilidad se calcula a partir del caudal de gas que pasa a través del núcleo, las dimensiones del mismo, el gradiente de presión y la viscosidad del gas.

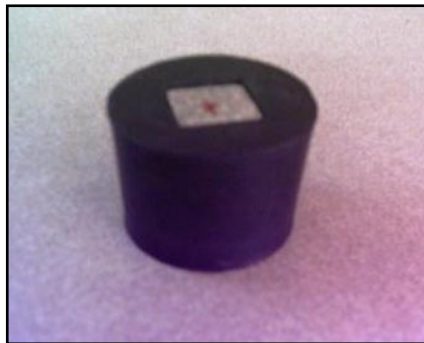
Los equipos y herramientas utilizados para el ensayo fueron:

- Permeámetro de gas Ruska con accesorios
- Muestras de mortero previamente preparadas (para 40% de colas en arena y 0% de colas en arena).

Procedimiento experimental para Ensayo de Permeabilidad:

- Se fabricaron 3 probetas cúbicas de 5 cm. de lado y se sometieron a un período de curado de 28 días para un 40% de colas en arena. De cada cubo se cortaron 2 cubos de aproximadamente 2 cm de lado cada uno previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.
- De las muestras, se escogió la más adecuada para el receptor de caucho (más precisa), se insertó la copa y se ajustó el permeámetro (Figura 7).
- Se comienza por probar la posición “large” de la válvula selectora del flowmeter y se fija una presión de 0.25 atm. en el manómetro. Si el flotador (esfera) se encuentra en el rango de lectura entre 20 y 140 divisiones, se toma la lectura justo en el centro del flotador suspendido; de lo contrario se prueba la posición “médium” y se fija una presión de 0.50 atm., verificar si es posible tomar la lectura, de lo contrario se prueba con la siguiente posición “small”, fijando una presión de 1 atm. y tomar la lectura.
- Durante el procedimiento tomar la temperatura del aire y hallar la viscosidad equivalente.
- Cerrar la válvula reguladora y retirar la muestra.

Figura 7. Muestra ajustada al receptor de caucho.



Fuente: autores.

ANEXO G

Caracterización del mineral de Oro:

Espectroscopia por Fluorescencia de rayos X.

Tabla 1. Espectrometría por fluorescencia para muestra de mineral de oro del distrito de vetas (Santander).

ELEMENTO	NUMERO ATOMICO (z)	PORCENTAJE (%)
Si	14	23,75%
K	19	6,75%
Al	13	6,46%
Fe	26	4,36%
S	16	1,23%
Mo	42	0,81%
Ti	22	0,61%
Mg	12	0,55%
Ca	20	0,43%
Ba	56	0,20%
Pb	82	0,17%
Mn	25	0,09%
Na	11	0,07%
Rb	37	0,07%
Sr	38	0,06%
P	15	0,03%
Zn	30	0,03%
Cu	29	0,03%
Cr	24	0,02%
Ni	28	61 ppm
Ga	31	16 ppm
Nb	41	8 ppm
Cl	17	N.C
Co	27	N.C
As	33	N.C
Al	13	6,46%
Fe	26	4,36%
Balance (O,C,H)		---

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en este proyecto.

Ensayo al Fuego.

Figura 1. Ensayo al fuego para mena de oro del distrito minero Vetas-Santander.



Fuente: Escuela Ingeniería Metalúrgica y ciencia de materiales.

El método se aplica específicamente para determinar oro, plata y algunos elementos del grupo del platino, aunque también puede usarse para determinar algunas veces: plata, estaño, cobre y mercurio. Mediante esta rama del análisis cuantitativo se determinan los metales en minerales y productos metalúrgicos mediante el uso de reactivos secos y calor.

En este ensayo las muestras se mezclan con agentes fundentes que incluyen el óxido de plomo (litargirio) y se funden a alta temperatura. El óxido de plomo se reduce a plomo, el cual colecta el metal precioso. Cuando la mezcla fundida se enfría, el plomo permanece en el fondo, mientras que una escoria vítrea permanece arriba. Los metales preciosos se separan del plomo mediante un procedimiento llamado copelación. La técnica final utilizada para determinar el contenido de metal precioso colectado puede variar desde una balanza (para muestras con ley muy alta), hasta Espectrometría de Absorción Atómica o Espectrometría de Emisión Atómica.

El ensayo al fuego para el oro y la plata depende de:

- Un alto grado de solubilidad en plomo del oro y la plata.

- La facultad de remoción del plomo de los metales preciosos mediante copelación (fusión oxidante).
- La solubilidad de la plata en soluciones de ácido nítrico, así mismo como la insolubilidad del oro en estos ácidos.
- La insolubilidad de los metales en escorias de apropiada composición.
- La diferencia de densidad entre el plomo y la escoria. De esta forma el plomo va al fondo mientras que la escoria queda en la parte superior.

La ventaja del ensayo al fuego sobre los métodos húmedos de análisis de minerales para oro y plata, se basa en el menor costo y rápida eliminación de todas las sustancias minerales asociadas en una fusión.

ANEXO H

Caracterización de las colas de Oro:

Tabla 1. Difracción de rayos X para muestra de mineral de oro del distrito de vetas (Santander).

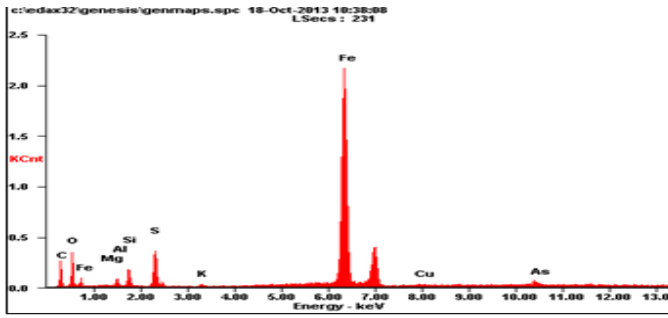
FASE		NOMBRE	CUANTITATIVO (D.E)
CRISTALINOS	Fe S ₂	Marcasita	1.0 % (0.1)
	Fe S _{1.96}	Pirita	2.9 % (0.1)
	Si O ₂	Cuarzo	9.7 % (0.1)
	K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.78} Fe _{0.22} (Al _{0.82} Si _{3.18} O ₁₀) (OH) ₂	Moscovita	32.5 % (0.2)
	K (Al Si ₃ O ₈)	Microclina	7.2 % (0.3)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Moscovita	N.C
	K (Al Si _{3.02} O ₈)	Ortoclasa	13.3 % (0.2)
	(K _{0.95} (H ₃ O) _{0.05}) Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	Hidrojarosita	1.6 % (0.1)
Total Cristalino			68.2 %
Amorfos y otros			31.8 %

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en este proyecto.

Nota:

- **N.C = No Cuantificable** (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)
- **D.E = Desviación estándar**

Figura 1. SEM-EDS de colas de oro del distrito de Vetas –Santander.



Element	Wt%	At%
CK	09.76	30.22
OK	04.48	10.41
MgK	00.12	00.18
AlK	00.90	01.24
SiK	01.97	02.61
SK	03.28	03.81
KK	00.25	00.24
FeK	69.96	46.59
CuK	01.17	00.68
AsK	08.11	04.03
Matrix	Correction	ZAF

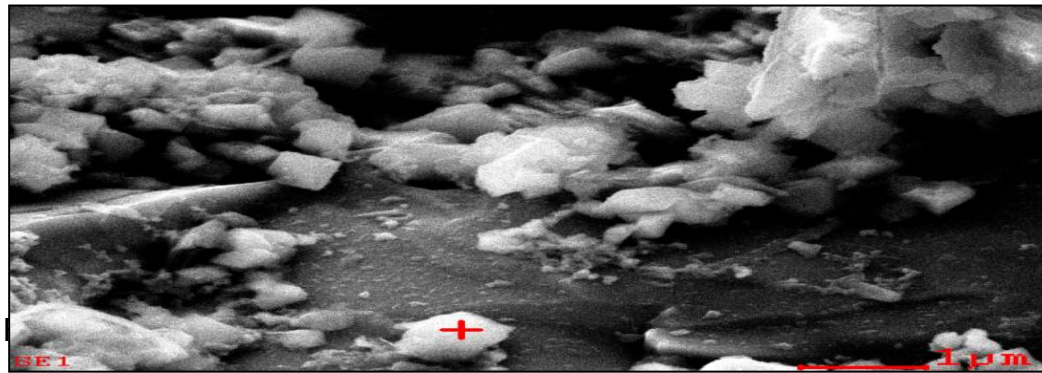
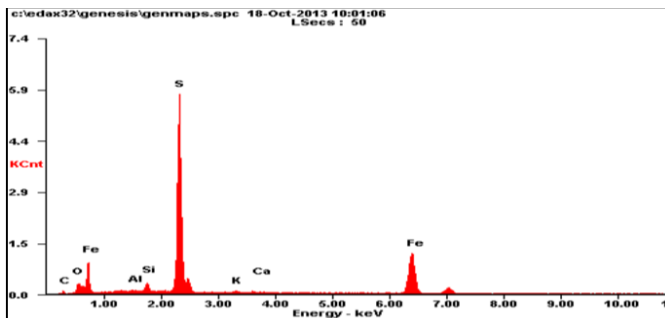
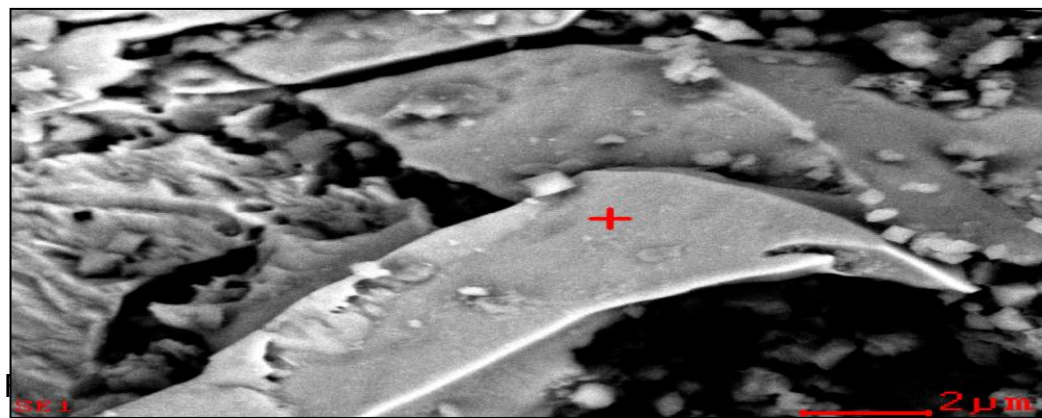


Figura 2. SEM-EDS de colas de oro del distrito de Vetas –Santander.



Element	Wt%	At%
CK	04.76	13.10
OK	06.38	13.19
AlK	00.29	00.36
SiK	01.92	02.26
SK	44.32	45.73
KK	00.70	00.59
CaK	00.42	00.34
FeK	41.22	24.42
Matrix	Correction	ZAF



ANEXO I

Mineral de Oro:

Figura 1. Mineral de oro de Vetas- Santander



Fuente: Minera Reina De Oro Ltda. Vetas, Santander-Colombia

Origen: el desplazamiento de las soluciones hidrotermales, desde su origen hasta el lugar de deposición de las menas contenidas en ellas, depende de las aberturas que se hallan disponibles en las rocas, es decir, de la porosidad y permeabilidad de las mismas. La mayoría de los yacimientos de oro se han originado de estas emanaciones hidrotermales y unos cuantos se han formado por metamorfismo de contacto del cuerpo ígneo intrusivo original en las rocas adyacentes.

- Hipotermas: los formados por las soluciones a alta temperatura y presión (300° y 500° C).
- Mesotermas: los formados por las soluciones a temperaturas y presiones moderadas (175° a 300°).
- Epitermas: los formados a baja temperatura y presión.